

제 출 문

국토교통부장관 (국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “신재생에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발 기획에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2016년 4월 10일

주관연구기관명 : 광주과학기술원

주관연구책임자 : 김 인수 교수

연구원 : 황 문현 박사

" : 최 창규 박사

" : 김 성조 박사과정

" : 국 승호 박사과정

" : 한 도선 석사과정

" : 이 진우 석사과정

보고서 요약서

과제고유번호		연구기간	2015.08.01 -2016.03.31	단계구분	
연구사업명	중사업명	국토교통기술 연구개발사업			
	세부사업명	국토교통연구기획사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	신재생에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발 기획			
연구책임자	김인수	총 연구기간	총: 7명	총 연구비	정부: 90,000천원
		참여 연구원 수	내부: 7명 외부: 0명		민간: 0천원
연구기관명 및 소속부서명	광주과학기술원 글로벌담수화연구센터			해당사항 없음	
국제공동연구	해당사항 없음				
위탁연구	해당사항 없음				
요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)				보고서 면수	
				260	
<ul style="list-style-type: none"> - 2015년 3월 박근혜 대통령의 중동 4개국 순방에 따라 한-UAE 양국 간 물산업에 대한 연구협력이 논의되었으며, 해수담수화 플랜트 분야가 포함됨 - 현재 해수담수화 기술을 한단계 업그레이드할 뿐만아니라 세계 최고의 에너지 효율성을 확보할 수 있는 기술에 대한 R&D 계획 수립이 필요함 - 현 중동지역을 중심으로 태양에너지를 활용한 발전기술이 향상되고 있는바, 이에 발맞추어 신재생에너지와 해수담수화를 연계할 수 있는 기술 개발 또한 필요함 - 따라서, 세계 최고 수준인 에너지 사용량 3.3 kWh/m³의 저에너지 해수담수화플랜트 건설을 위한 요소기술 개발과 함께 기술 수요국 중 하나인 UAE에 2,000 m³/d 급의 파일럿 플랜트 건설하여 UAE 마스다르와 공동으로 성능을 평가함으로써, 명실상부한 ‘세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발’을 달성하는 것이 본 과제의 최종 목표임 					
색인어 (각 5개 이상)	한글	세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화 플랜트, 신재생에너지 융합 해수담수화플랜트			
	영어	Seawater desalination plant technologies using world-lowest energy consumption, renewable energy-based seawater desalination plant			

요 약 문

I. 기술의 정의 및 필요성

가. “신재생에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발”의 정의

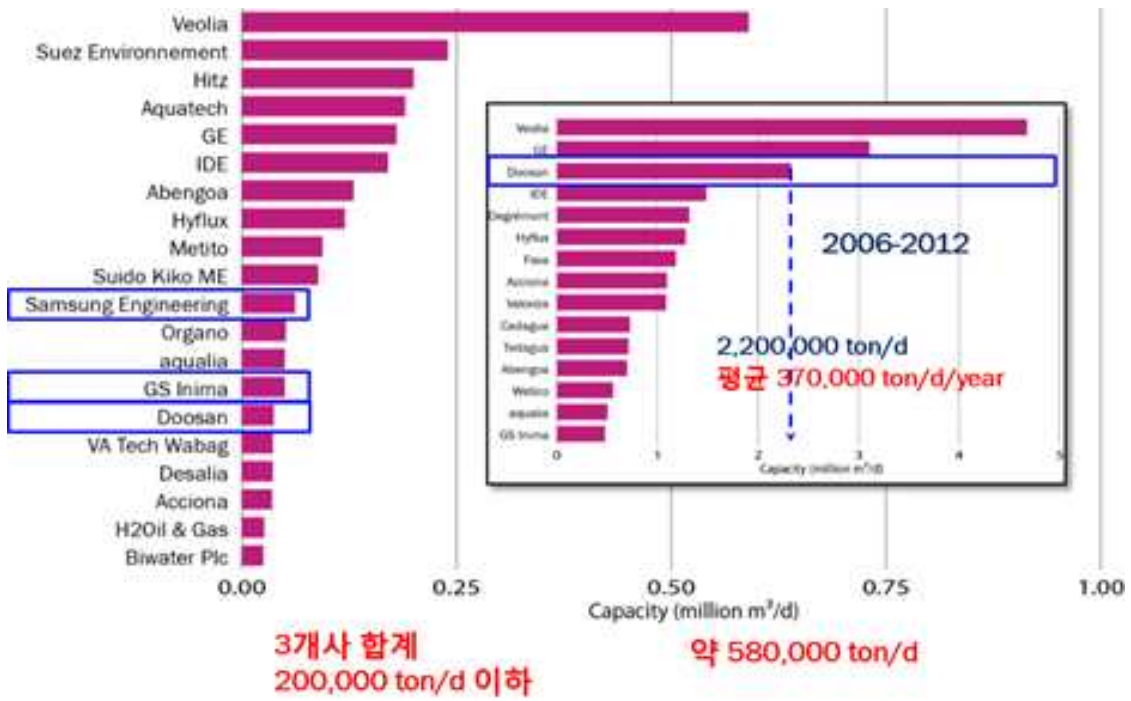
- “신재생에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발”은 에너지 사용량 3.3 kWh/m³의 해수담수화플랜트’ 건설을 위한 신재생에너지 연계 기술을 포함한 요소기술 개발과 세계 최대의 해수담수화플랜트 기술 수요국 중 하나인 UAE에 생산수 기준 2,000 m³/d 급의 파일럿 플랜트 건설하여 UAE 마스다르와 공동으로 성능을 평가함으로써, 명실상부한 ‘세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발’달성을 의미함.

나. 기획의 배경 및 필요성

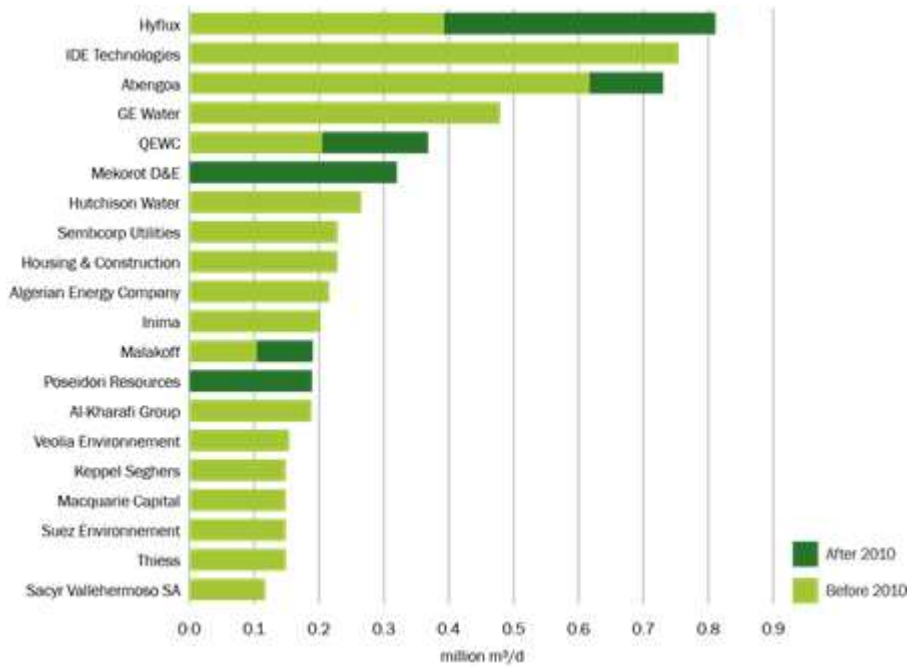
- 2015년 3월 박근혜 대통령의 중동 4개국 순방 중 한국의 물산업에 대한 한-UAE 양국 간 연구협력이 논의되었으며, 다양한 물산업 중에서 해수담수화 플랜트 분야가 포함됨
- 중동시장은 세계 최고 기술을 보유한 다국적 기업 경쟁의 장으로 현재 보유한 기술만으로는 경쟁력 약화가 예상됨
- 이에 현재 해수담수화 기술을 한 단계 업그레이드할 뿐만 아니라 세계 최고의 에너지 효율성을 확보할 수 있는 기술에 대한 R&D 계획 수립이 필요함
- 또한 에너지 저감과 관련하여 또 다른 방향으로 탄소저감을 위한 신재생에너지 활용 기술이 부각되고 있음. 현 중동지역을 중심으로 태양에너지를 활용한 발전기술이 향상되고 있는바, 이에 발맞추어 신재생에너지와 해수담수화를 연계할 수 있는 기술 개발 또한 필요함
- 전체적으로 중동지역 진출을 위해 현지 맞춤형 기술 개발과 이를 위해 중동지역과의 업무 협력 방안 추진이 필요함

II. 국내외 기술동향 및 환경 분석

- 국내 기술력은 증발식 중심으로 형성되었을 때 세계 선두권의 경쟁력이 있었으며, 현재도 두산 중공업을 중심으로 증발식 분야에서 선두권 유지
- 역삼투 방식에 있어서는 11위권으로 2009년 이후 역삼투방식 해수담수화 플랜트 국내 수주량은 칠레의 220,000 m³/d의 플랜트를 수주한 것 외에는 전무
- 역삼투 방식에 있어 국내 기술력은 세계 중위권 수준으로 가장 대표적으로 국내 에너지 소모량은 3.8-4.0 kWh/m³ 수준이며, 생산수 단가는 0.92 \$/m³ 내외로 0.75 \$/m³의 수준과는 거리가 존재
- 국내 기술의 해수담수화 시장에서의 경쟁력은 전체 수주 물량에서 2012년까지 세계 시장에서 3위의 경쟁력을 확보한 상황이었으나, 2015년 최고 순위가 삼성 엔지니어링의 11위일 정도로 하락했으며, 전체 20위권 3개사의 합산 수주량이 비올리아의 약 1/3 수준으로 하락
- 이러한 결과는 2012년 이전은 증발식 수주 물량에 기인한바가 크나, 이후 역삼투 시장으로의 변화에 대한 늦은 대처, O&M 기술 부족에 따른 BOT/BOO 시장 진출 실패 등에 따른 상황으로 분석



2015년 한국기업의 해수담수화 플랜트 시장에서의 수주실적
(Source: GWI2015)



BOT/BOO 수주 현황 (국내기업 전무)
(Source: GWI2015)

- 현재 해수담수화 시장은 에너지 저감이라는 키워드를 중심으로 활발하게 기술 개발 중이며, 3-5 kWh/m³의 수준에서 플랜트가 운영 중에 있음
- 해수담수화 시장에서의 경쟁력 강화를 위해서는 에너지를 저감하기 위한 기술개발은 필수적이며, 신공정 개발, 부품소재 개발, 설계 및 O&M 기술개발 등과 함께 '신재생에너지 융합 해수담수화기술 개발'에 상당한 관심이 집중되고 있음
- 에너지 저감은 현재 수준의 3.5-4.0 kWh/m³ 수준을 시장에서 요구되는 3.5 kWh/m³ 이하로 낮추기 위해서 신재생에너지 활용전략이 필요

III. 한-UAE 연구협력의 방향성

- 연구추진 기한 내에 연구개발을 통해 수출 가능한 기술을 바탕으로 구성되어야 하며, 실규모 플랜트 건설을 통한 기술 검증은 목표로 추진
- 국내 기술 수출을 위한 교두보로 활용하기 위해 추진되는 기획과제 성격으로, 향후 UAE와의 공동 기술개발을 위한 연구협력이 필요
- 양국 정부 및 연구기관과의 긴밀한 협력이 필요하며, 한-UAE 국제 공동연구의 프레임에서 기획 및 연구개발이 추진

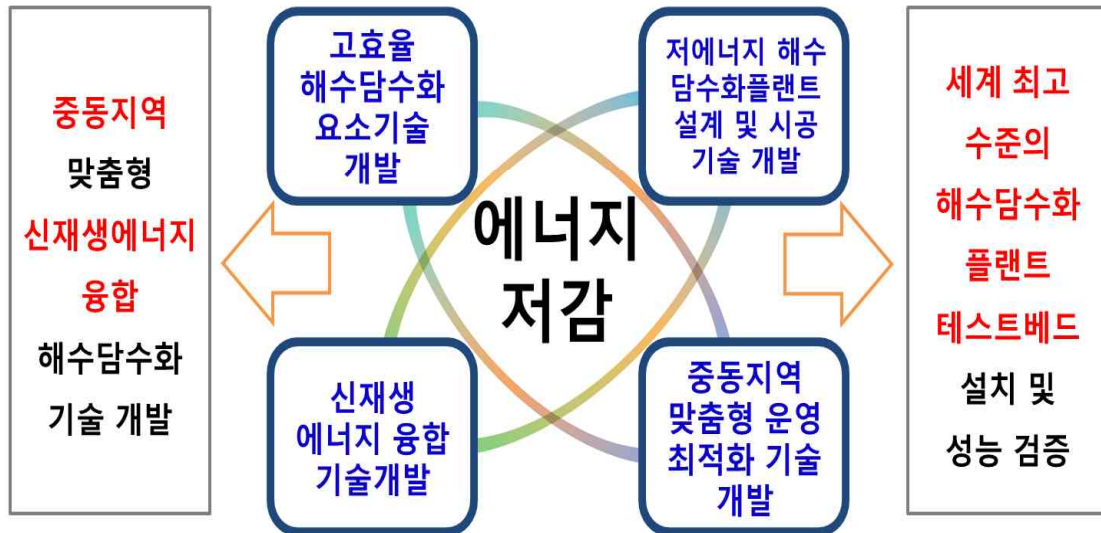


IV. 연구과제 비전 및 목표

가. 연구의 비전

- 신재생 에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발 기획과제에서 제안한 연구의 비전은 ‘세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트 기술 개발’임
- 이를 통해 주요 기술 수요국인 중동지역 맞춤형 저에너지 플랜트 요소기술 및 신재생에너지 활용 플랜트 기술을 개발하여 중동 현지에 파일럿 플랜트를 건설하고 성능을 검증함으로써, 국내 해수담수화플랜트 건설 및 운영 기술의 경쟁력 확보와 중동 지역 시장 진입을 달성함

중동지역 해수담수화 시장 진입 및 경쟁력 확보를 위한
세계 최고수준의 저에너지 해수담수화 기술 개발



나. 연구 목표: 세계 최저 수준의 에너지 사용량 3.3 kWh/m³ 달성

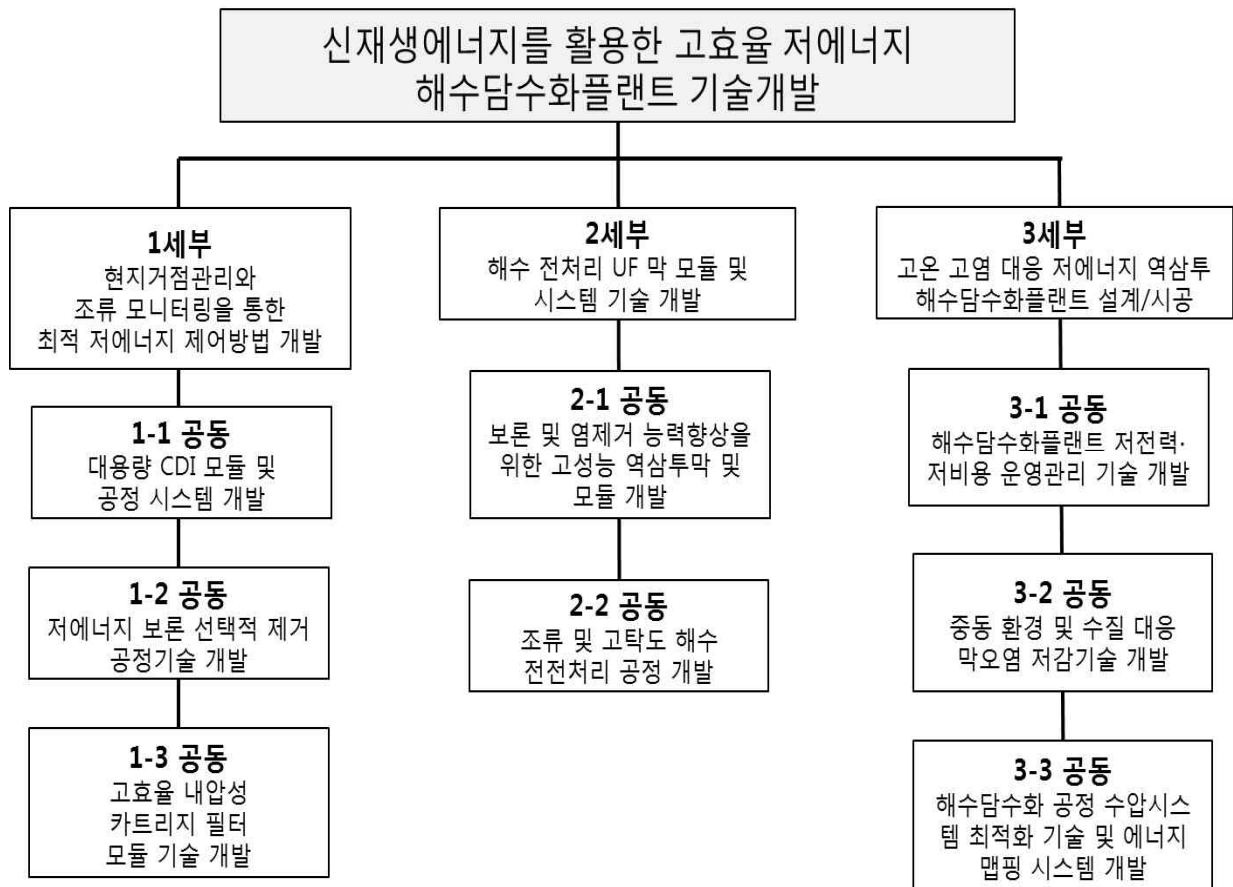
- UAE 현지에서 제시하는 에너지 사용량 목표 및 기준에 운영하고 있는 해수담수화플랜트 중 가장 낮은 실증 플랜트 수준을 감안하면, 현재 가장 낮은 에너지 사용량은 3.5 kWh/m³임을 알 수 있음
- 따라서, 본 연구과제의 목표는 UAE 현지 뿐만 아니라 세계 최저 수준의 에너지 사용량을 목표로 하고 있기 때문에, SEC (Specific Energy Consumption) 3.3 kWh/m³를 목표로 설정하였음

공정	에너지 사용량 목표	기존 최저 에너지 사용량	저감량	비고
전처리 공정 (전처리공정 포함)	0.25	0.4 이상	▽0.15	
RO 트레인	2.5 이하	2.5 이상	-	고효율 고프럭스막 및 Single Pass 적용으로 0.1kWh/m ³ 이상 저감이 가능할 것으로 예측
후처리	0.1	0.1	-	후처리는 현재 최저에너지 사용량으로 연구과제에서 제외
O&M	0.45	0.5	▽0.05	
계	3.3 이하	3.5 이상	▽0.2	

V. 연구개발과제 구성 및 추진전략

가. 연구개발과제 도출

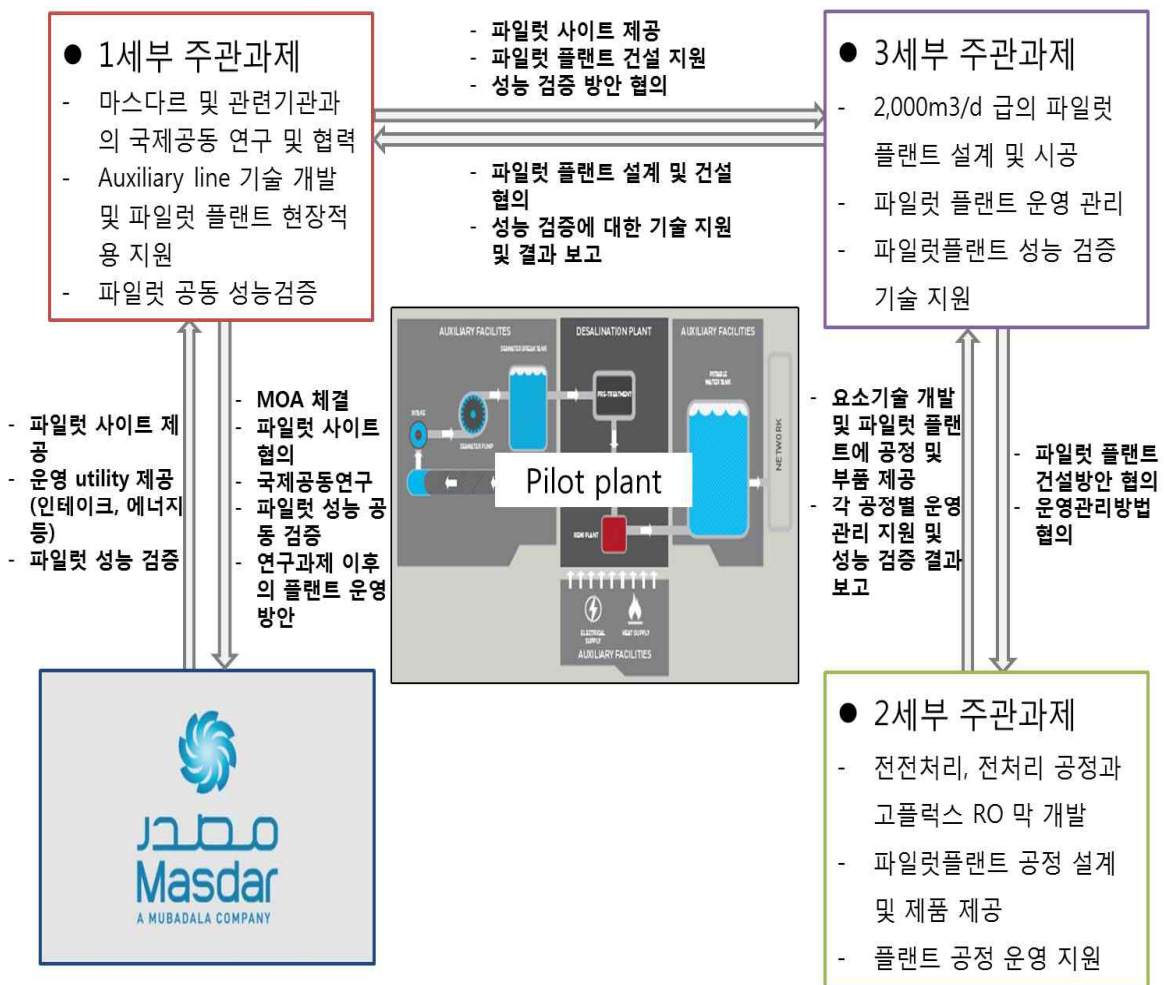
- ‘신재생에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발’의 과제구성은 3개 세부과제와 8개 공동과제로 구성되어 있으며, 각 세부과제별로 구성된 개발 기술들은 모두 UAE 현지에 건설되는 파일럿 플랜트에 적용하여 성능을 검증 받는 것이 공통적인 최종 목표를 가지고 있음



- 파일럿 플랜트 현장적용은 크게 두가지로 나누어질 수 있는데, Main line과 Auxiliary line으로 구분됨
- Main line은 하루 생산수 2,000 m³ 규모에서 최종 연구 목표인 에너지 사용량 3.3 kWh/m³을 달성하기 위한 과제들로, 2-2 공동(전처리), 2세부(전처리), 2-1 공동(역삼투막)과 같은 요소기술을 접목하여 3세부가 파일럿 플랜트를 설계 및 시공하게 되고, 3세부의 공동과제에서 개발된 기술들이 플랜트를 운영 관리하게 되는 연계성을 가지고 연구개발이 진행됨
- Auxiliary line은 에너지 사용량 목표치보다 더 낮은 목표치가 가능한 선진 기술 (innovative technologies)과 안정적인 처리효율을 유도하기 위한 연구과제로서 규모에는 상관없으나 다만 개발된 기술이 현장에서 구현됨. 1-1 공동(CDI)과 1-2 공동(보론제거기술)은 높은 TDS와 보론 제거가 가능하면서 RO 트레인의 2nd Pass를 대체할 수 있는 공정으로 현장 적용되며, 1-3 공동(카트리지필터)은 RO 고압펌프를 보호하기 위한 목적

으로 RO 트레인에 유입되기 전에 안정성을 확보하기 위해 현장 적용되어 성능이 검증됨

- 각 세부과제별로 UAE 현지 플랜트 건설 및 현장검증을 위한 역할 및 상호 연계성은 다음 그림과 같으며, 1세부과제는 플랜트 건설 지원 및 UAE 공동연구와 검증, 2세부과제는 요소기술 개발 및 플랜트 공급/운영, 3세부과제는 플랜트 설계/시공/운영관리를 맡게 됨



나. 연구개발과제 추진전략

- 연구개발과제 추진전략은 1차년도에 요소 기술 및 공정 개발, 2차년도에 파일럿 플랜트 Main line 건설, 3차년도에 파일럿 플랜트 운영 및 효율화, 4차년도에 파일럿 플랜트 운

영 안정성 및 현장 검증, 경제성 분석으로 추진됨

	1차년도 (요소기술 개발)	2차년도 (파일럿 건설)	3차년도 (시운전 및 효율화)	4차년도 (운전 및 성능검증)
1 세부	<ul style="list-style-type: none"> - UAE와 MOA 체결, 파일럿플랜트 건설방안 협의, 파일럿플랜트 설치 지원 - 원수 내 조류 및 부산물 오염물질 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 조류 및 부산물 모니터링 시스템 제안 	<ul style="list-style-type: none"> - UAE와 파일럿플랜트 성능검증 방법 협의 - 조류 및 부산물 제어 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - UAE와 파일럿플랜트 공동 성능검증 및 향후 플랜트 운영방향 협의
2 세부	<ul style="list-style-type: none"> - 부품 및 공정 개발 및 성능 검증 - 양산설비 구축 및 공정 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 운전방법 프로그램 및 매뉴얼 구축 - 부품 및 공정 테스트 베드 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 파일럿 플랜트 시운전 및 기술 보완 - Auxiliary line 기술 현장 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 파일럿 플랜트 최적 운전 - 파일럿 플랜트 성능 검증 기술 지원
3 세부	<ul style="list-style-type: none"> - 파일럿플랜트 설계 및 엔지니어링 기술 개발 - 2,000m³/d 파일럿플랜트 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 2,000m³/d 파일럿플랜트 시공 		

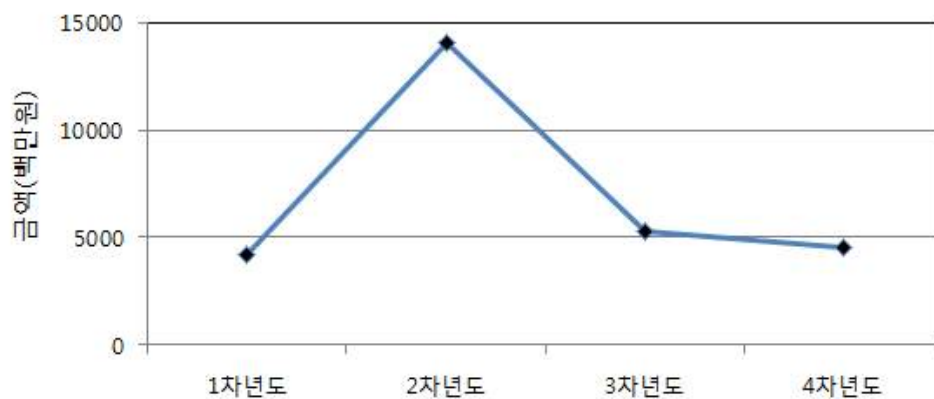
VI. 자원투입 계획

- 총 연구비는 정부출연금 기준으로 28,100백만원으로, 1세부과제에 6,940백만원, 2세부과제에 8,540백만원, 3세부과제에 12,620백만원이 소요될 것으로 예상됨
- 총 연구비를 각 차년도 별로 구분하면, 1차년도 4,006백만원, 2차년도 14,050백만원, 3차년도 5,297백만원, 4차년도 4,747백만원으로 배분되어 2차년도에 50%의 예산이 소요되는 것으로 나왔으며, 이는 UAE 현지 플랜트 시공이 2차년도까지 완료되는 것으로 되어 있기 때문에 2차년도에 많은 예산이 투입됨

(단위: 백만원)

세부	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
1세부	인건비	179	261	180	800	1,420
	연구장비 재료비	677	1,471	647	760	3,555
	기타경비 및 위탁연구비	420	718	750	77	1,965
	총 연구비	1,276	2,450	1,577	1,637	6,940
2세부	인건비	305	478	411	374	1,568
	연구장비 재료비	1,176	2,504	619	552	4,851
	기타경비 및 위탁연구비	469	668	540	444	2,121
	총 연구비	1,950	3,650	1,570	1,370	8,540
3세부	인건비	245	458	629	477	1,809
	연구장비 재료비	515	7,240	915	490	9,160
	기타경비 및 위탁연구비	20	252	606	794	1,651
	총 연구비	780	7,950	2,150	1,740	12,620
합계		4,006	14,050	5,297	4,747	28,100

연차별 총 연구비



목 차

제1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절 기술의 정의 및 분류체계	1
2절 기술개발의 필요성	2
제2장 국내외 동향 및 환경분석	8
1절 국내외 정책동향	8
2절 국내외 시장현황 및 전망	13
3절 기술 동향	48
4절 국내외 연구개발 인프라 분석	63
제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략	77
1절 기술개발을 위한 전략	77
2절 중동지역 시장 진입을 위한 기술 전략	114
3절 기술개발에 따른 미래상	133
4절 연구개발 과제 구성	134
5절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	152
6절 연구 추진 체계	161
7절 기술/성과 로드맵	165
제4장 자원투입 계획	169
1절 연구시설 및 장비 투입계획	169
2절 인력투입계획	173
3절 소요예산 투입계획	175

제5장 과제공모 방안	179
1절 과제제안 요구서	179
2절 연구단 이후 추진계획	211
3절 정부지원의 필요성	211
4절 기대효과	213
5절 예상되는 기술개발 가치평가	214
부 록	226

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

기술의 정의

- 신재생에너지를 활용하여 세계 최고 에너지 효율의 역삼투 방식 해수담수화플랜트 요소 기술 및 설계/시공/운영기술

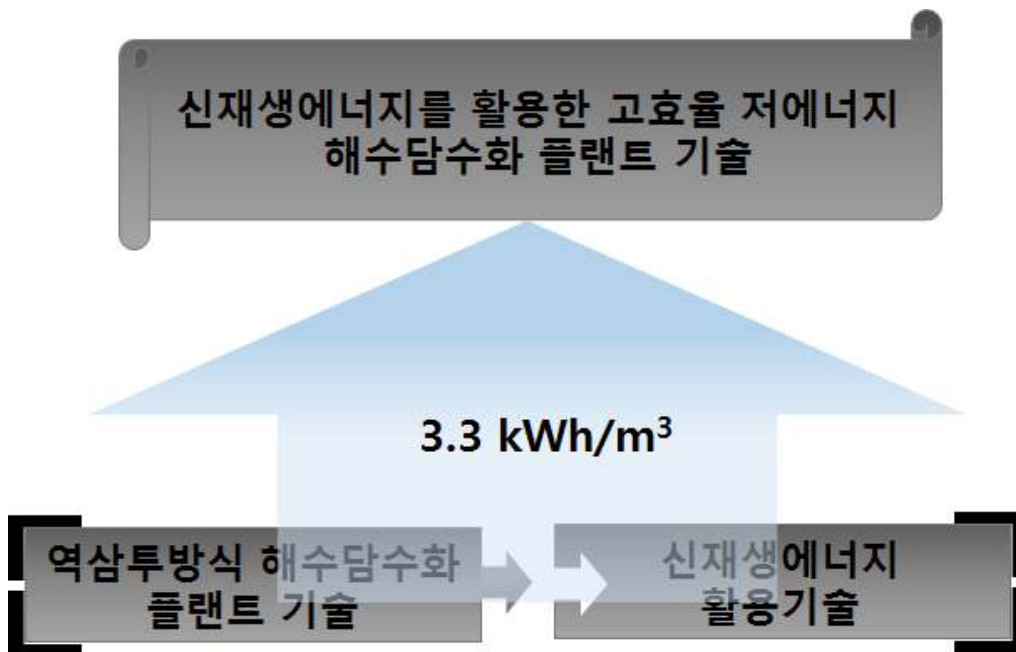


그림 1. 신재생 에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화 플랜트 기술의 정의

- 대체 수자원확보 수단으로서 역삼투 방식의 해수담수화 플랜트 기술과 신재생에너지를 결합하여 3.3 kWh/m³ 이하의, 현재 가장 에너지 효율성이 우수한 요소기술 및 해수담수화 플랜트 설계/시공 및 운영기술
- 중동지역 내 수질, 환경조건에 적합한 역삼투 방식 해수담수화 플랜트 설계/시공 및 운영기술

- 범위 : 수자원 확보 및 물공급 기술로서 시장 지배적 역삼투 해수담수화 공정기술의 효율성을 한 단계 업그레이드 할 수 있는 중동시장 맞춤형의 역삼투방식 해수담수화 플랜트 기술의 설계, 시공, 생산 및 유지관리 기술 전반
- 목표 : 세계 최대 해수담수화 시장인 중동 지역 내에서 최고의 에너지 효율성을 확보할 수 있는 역삼투 방식의 해수담수화 플랜트 기술을 개발
- 수단 : 단일 스테이지 (single pass)로 중동지역의 수질기준을 만족시킬 수 있는 역삼투 막 개발 및 적용과 이를 활용할 수 있는 Single pass Train의 혁신적인 설계 및 시공기술

2절 기술개발의 필요성

1. 기획의 배경 및 필요성

기획 배경 및 필요성

- 기후변화로 인한 수자원의 부족과 해수담수화 산업 발전에 대한 가능성 증대
- 세계 최대 시장인 중동지역 내 기술경쟁력 확보 필요

- 중동지역을 포함한 전 세계의 대체수자원에 대한 필요성은 지속적으로 증가하고 있는 상황임
- 세계 최대 시장인 중동지역에서 증발식 기술로 세계 최고 시장점유율을 가지고 있던 국내 기술은 역삼투 막 시장으로 변화함에 따라서 지속적으로 위상이 저하되고 있음
- 역삼투 방식의 해수담수화 플랜트 기술은 점차 에너지 효율성을 중시하는 방향으로 진행되고 있으나, 국내 기술은 아직까지 경쟁력을 확보할 수 있는 기술 개발이 미진함
- 2015년 3월 박근혜 대통령의 중동 4개국 순방 중 한국의 물 산업에 대한 한-UAE 양국 간 연구협력이 논의되었으며, 다양한 물 산업 중에서 해수담수화 플랜트 분야가 포함됨

- **중동시장**은 세계 최고 기술을 보유한 다국적 기업 경쟁의 장으로 현재 보유한 기술만으로는 **경쟁력 약화**가 예상됨
- 이에 현재 해수담수화 기술을 한 단계 업그레이드할 뿐 만 아니라 **세계 최고의 에너지 효율성을 확보**할 수 있는 기술에 대한 **R&D 계획 수립**이 필요함
- 또한 에너지 저감과 관련하여 또 다른 방향으로 탄소저감을 위한 신재생에너지 활용 기술이 부각되고 있음. 현 중동지역을 중심으로 태양에너지를 활용한 발전기술이 향상되고 있는바, 이에 발맞추어 **신재생에너지와 해수담수화를 연계**할 수 있는 기술 개발 또한 필요함
- 전체적으로 중동지역 진출을 위해 현지 맞춤형 기술 개발과 이를 위해 중동지역과의 업무 협력 방안 추진이 필요함

2. 기획 추진 현황

기획 현황

- 총 5차에 걸친 업무협의를 통해 MoU 체결 및 Heads of Terms 체결 협의

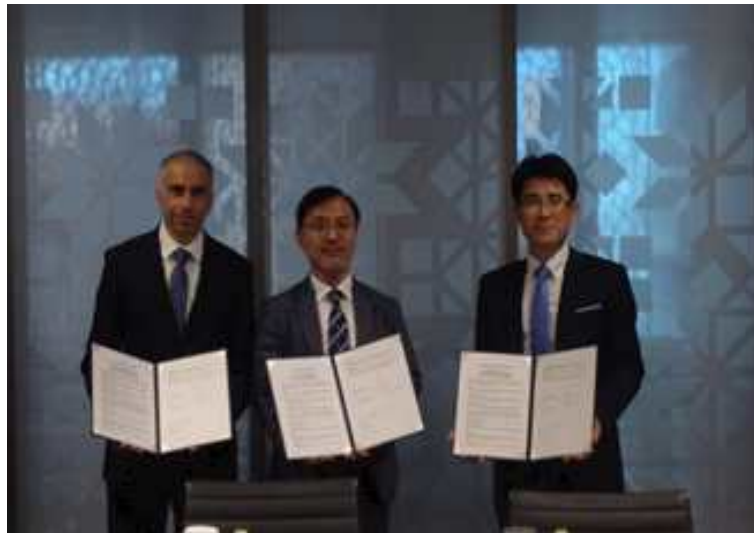
- (2015.04.16) 1차 업무협의
 - 대구에서 개최(2015. 04.)된 세계 물 포럼(World Water Forum)에서 한국 정부와 UAE의 Masdar/MI와의 특별세미나 및 회의를 통해 한-UAE 담수분야 연구협력에 대한 기본 방향을 협의



그림 2. 1차 한-UAE 공동연구세미나 및 회의

○ (2015.05.31) 2차 업무협약

- Masdar 방문을 통해 KAIA와 Masdar간 MOU 체결



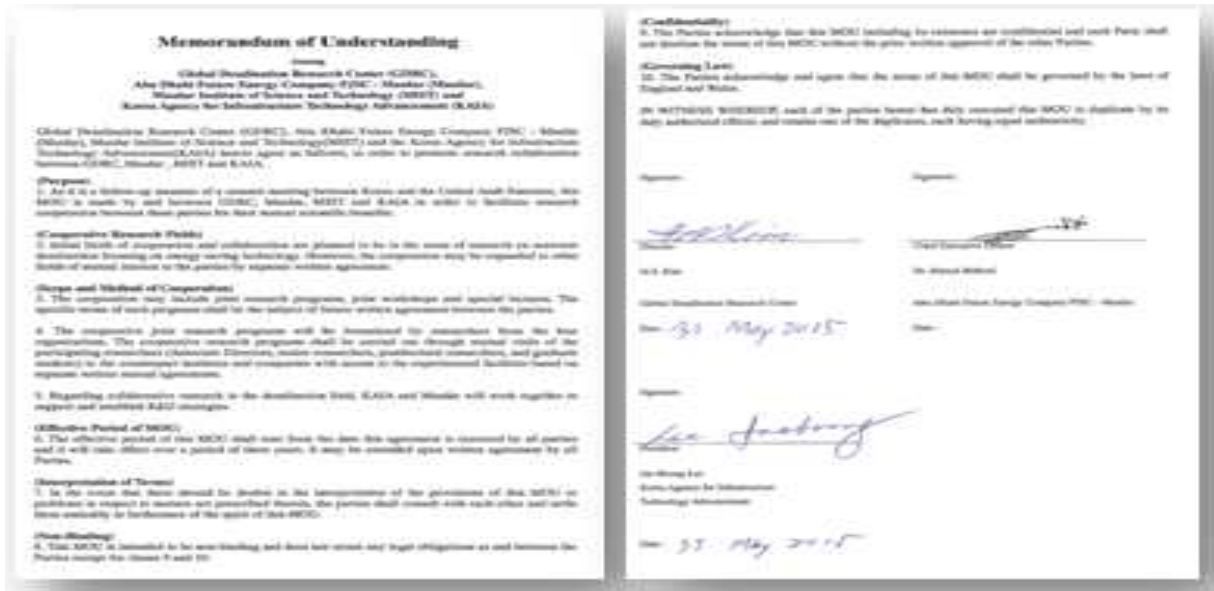


그림 3. 한국-마스다르와의 MOU

○ (2015.09.01.) 3차 업무협의

- 미국 샌디에고에서 개최된 IDA World Congress에서 국내 연구과제 기획에 대한 공유와 향후 MI의 연구 참여방안에 대해 논의



그림 4. 3차 한-UAE 공동연구 회의

○ (2015.11.18.) 4차 업무협의

- 제주 IDW2015 한-UAE 특별세미나에서 실무자 회의 실시
- 기획과제에 대한 양측의 공동협력 연구에 대해 실질적 방향 논의

○ (2016.01.20.~21) 5차 업무협의

- IWS (International Water Summit) 행사시 아부다비 국립 전시 센터에서 본 과제 수행 시 건설될 해수담수화플랜트에 대한 상세정보 및 Heads of terms (HoT) 를 포함한 연구 과제 실행계획에 대해 양측 협의



그림 5. 한-UAE Head of Terms 체결을 위한 회의

**Memorandum of Agreement for Research Collaboration
between KAIA and MASDAR**

Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) and MASDAR will agree to the terms below pertaining to the mutual research collaboration and the rights and utilization of research results for Korea and UAE's joint research in the area of seawater desalination technology.

(Purpose)
1. As a follow-up measure of a summit meeting between Korea and the United Arab Emirates (UAE) in March 2015, and the Memorandum of Understanding signed in May 2015, this Memorandum of Agreement (MOA) is made between KAIA and MASDAR for research collaboration for mutual scientific benefits, the rights of the research results and their application.

(Research Subject and Areas of Cooperation)
2. Research collaboration shall be proceeded as defined in the Memorandum of Understanding. The mutual collaboration project is "Developing high-efficiency, low-energy seawater desalination technologies utilizing new renewable energy" (pioneering side) in the beginning. Additional research projects can be added by separate agreements per both parties' mutual consent in the future.

(Scope and Method of Research Collaboration between Two Parties)
3. The scope of research collaboration is to develop high-efficiency, low-energy seawater desalination technologies for the region of UAE. It is based on the research projects defined by Article 2.

4. KAIA shall select research institutes in Korea for the research project by public offering and manage the research budget for the research.

5. MASDAR shall provide seawater intake/discharge facilities and the sites to install a pilot plant for the research project. All necessary utilities, such as electric power for operating the pilot plant, will be included.

6. KAIA and MASDAR shall discuss and assign to each party the responsibility to operate and manage the pilot plant for the research project, and execute performance verification tests on the pilot plant with the research institutes selected by Article 4.

7. The research institutes selected by Article 4 shall proceed with the research project, for which it shall install a pilot plant at the site provided in accordance with Article 4 and cooperate with MASDAR to run performance verification tests to achieve the research project purpose.

8. Each party shall accomplish its role using its own budget upon discussion between the KAIA and MASDAR. MASDAR shall provide separate residence and office area in business support to the pertinent Korean party.



**Minutes of the Meeting
Discussion for Research collaboration between KAIA and Masdar
21 January 2016
Abu Dhabi National Exhibition Center**

Agenda 1: Korea-UAE collaborative R&D

Agenda 2: Pilot Plant
(Option 1) location in UAE, where water used
(Option 2) Gantoot in UAE

Agenda 3: Memorandum of Agreement
Replace it with Heads of Terms
• Sample format will be shared by Masdar

Agenda 4: dispatch KAIA staff to Masdar
Via and scheduling
• Send staff as soon as possible by KAIA's expense, to be confirmed by Masdar

Agenda 5: MD/PRO research project
Or another projects Related Brine discharge

Agenda 6: Action plan

1. Heads of Terms(Draft) until the end of March 2016
 - Two tracks : R&D + Pilot
2. Heads of Terms(Final) until the end of May 2016
3. Contract until the end of Nov. 2016. *(Inclusive)*
 - Three contracts : Pilot, R&D and commercialization Korea R&D

1. Ending preliminary study
2. Launching the Kor-UAE R&D project around May 2016
3. Start building pilot plant around May 2017. *(Inclusive)*
(Test site and facilities need to be ready)

[Signature]
Dr. Alexander Ritzchel
Senior Manager
Masdar, United Arab Emirates

[Signature]
Mr. Harry Youngsoo Koo
Director
KAIA, Republic of Korea

그림 6. 제안한 MOA

그림 7. 2016.01 회의록 (HoT 협의)

3. 한-UAE의 연구협력의 최종 방향성



그림 8. UAE와의 협의된 추진 절차 및 협력방안

- 향후 종합적인 UAE와의 협력 방향성 협의를 통해 기술 개발에 대한 연구 방안 추진
- 해수담수화의 가장 큰 시장인 중동지역에서 국내의 RO 기반 해수담수화플랜트를 건설하고 UAE 측과 공동으로 현장 검증하는 절차 추진
- 연구추진 기한 내에 연구개발을 통해 수출 가능한 기술을 바탕으로 구성되어야 하며, 실규모 플랜트 건설을 통한 기술 검증을 목표로 추진
- 국내 기술 수출을 위한 교두보로 활용하기 위해 추진되는 기획과제 성격으로, 향후 UAE와의 공동 기술개발을 위한 연구협력이 필요
- 양국 정부 및 연구기관과의 긴밀한 협력이 필요하며, 한-UAE 국제 공동연구의 프레임에서 기획 및 연구개발이 추진

제2장 국내외 동향 및 환경 분석

1절 국내외 정책동향

정 책 동 향

- (국내) 국토교통 R&D 중장기 전략(안)을 통해 플랜트/담수화 기술에 대한 R&D 계획 수립
- (국외) 신재생에너지 활용 기술과 신공정에 대한 기술개발 활발

1. 국내 정책동향

- 국내에서는 『창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기전략(안)』에서 10대 중점 프로젝트 중 ‘글로벌 TOP 플랜트 건설기술’을 추진 계획을 세웠음
- 추진목표는 2006년 이후 해외건설 수주 60% 이상을 점유하는 플랜트 건설의 시장 다변화 및 부가가치 제고를 위해 담수화, 자원화, 자원 이송·순환 등 미래 유망 플랜트의 건설·시공에 대한 전주기적 핵심기술 개발 추진으로 수립하였음
- 또한, ‘에너지·자원부족’의 ‘플랜트’분야에 두 개의 해수담수화 기술 개발을 넣어 선도적으로 해수담수화 기술을 개발하려고 계획하고 있음(국토교통부, 2014)

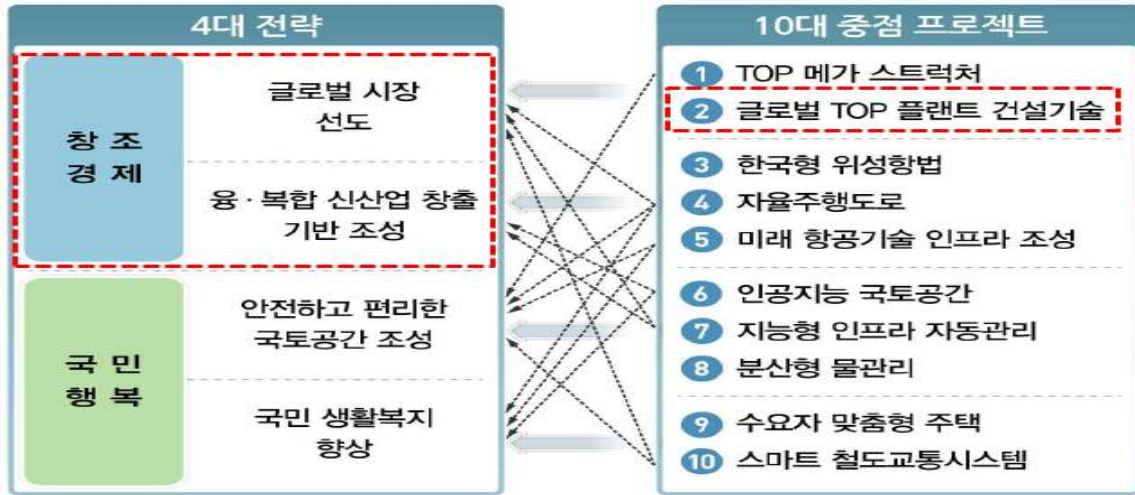


그림 9. 국토교통 R&D 방향 및 전략

표 1. 국토교통부 R&D 추진내용

구분	R&D 사업목적	주요 추진내용
<국토부문>		
건설기술연구	SOC시설물 안전 및 부가가치 제고, 첨단화로 건설기술력 제고	첨단재료 개발, 교량·터널 등 설계·시공기술 등
물관리연구	국가 물관리 위기상황 대응 및 국민의 고른 물복지 실현	물재해 저감, 안정적 수자원 확보기술 등
플랜트연구	플랜트 핵심공정, 기본설계 및 실증연구를 통한 국제경쟁력 제고	해수담수화 플랜트, 가스·자원 플랜트 등
도시·건축연구	국민행복 증진·도시활력 제고를 위한 신건축문화, 도시재생 연구	도시재생, 건축 BIM 설계기술, 녹색건축기술 등
주거환경연구	국민체감을 위한 쾌적·장수명·안전성 등 건강한 주거공간 구현	주택성능 개선, 제로에너지 및 조립식 주택기술 등
국토공간정보연구	국토공간정보 생산, 가공, 유통, 활용 및 융복합 시스템 구축	공간정보 빅데이터 구축·분석·활용기술 등

- 부산시의 경우 해수담수화 플랜트 사업단에서 건설한 기장플랜트 (45,000 m³/d)에 대한 성공적인 건설에 따라 해수담수화 클러스터 조성에 대한 계획을 2016년 초에 발표
 - 광주과학기술원 글로벌 담수화 연구센터와 공동 추진 예정
 - 기장플랜트를 활용 : 상업화와 연구를 동시에 할 수 있는 클러스터를 핵심으로 추진



그림 10. 부산시 해수담수화 연구클러스터 예정부지

2. 국외 정책동향

- 해수담수화플랜트 기술 관련 해외 R&D 정책 동향은 멤브레인 기반 RO 방식의 고효율 저에너지 및 신재생에너지 활용 해수담수화 연구과제가 활발하게 추진 중에 있으며, MD (Membrane distillation) 및 PRO (Pressure retarded osmosis), CDI (Capacitive deionization)와 같은 주로 에너지 저감에 초점을 맞춘 신기술 과제들이 추진되고 있음

가. 아랍에미레이트(UAE)

- UAE의 경우, 지역별로 4개의 담수화 관련기관이 있으며, 전력시설과 신규 플랜트 발주를 총괄하고 있음
- UAE 지속가능한 담수화 전략
 - 담수 수준 향상의 누적적인 효과 연구
 - 도시지역에서 해수담수화를 위한 태양에너지 사용을 장려하는 시범적 프로젝트
 - 하수 재이용 방법의 개발
- UAE에서 아부다비는 2011년 2,600만 m^3 의 세계에서 가장 큰 지하저수지를 구축 하여 담수화한 수자원을 저장하고 있으며, 두바이도 현재 Al Lusaily 저수지 등을 확보함으로써, 물 부족 사태를 해결하기 위해 각 토후국에 예비 수자원을 보유하고 있는 정책을 추진 중임

표 2. UAE 담수화 관리 및 발주 기관

기관명	주요 발주 내용
Abu Dhabi Water & Electricity Authority (ADWEA)	아부다비 지역 수 전력시설 총 관리 및 신규 플랜트 발주
Dubai Water & Electricity Authority (DEWA)	두바이 지역 수 전력시설 총 관리 및 신규 플랜트 발주
Sharjah Water & Electricity Authority (SEWA)	샤르자 지역 수 전력시설 총 관리 및 신규 플랜트 발주
Federal Water & Electricity Authority (FEWA)	라스 알카이마 등 북부 에미레이트 지역 수 전력시설 총 관리 및 신규 플랜트 발주

나. 사우디 아라비아(KSA)

- 사우디아라비아의 담수 관련은 주로 정부 발주 프로젝트로 구성되며, 사우디 전력청 (Saudi Electricity Corporation, SEC)과 담수청 (Saudi Water Conversion Corporation, SWCC)에서 주관 발주하고 있음
- 수자원전력과 수자원 관리기구를 두고 수자원 관리와 에너지 관리가 일원화 운영
- 사우디 수자원 전력부는 국가의 수자원 및 전력부문을 담당하는 정부부처로서, 국가의 전력 및 수자원 분야를 관장
 - 수자원국 산하에 13개 각 지역 행정 단위별로 지역 수자원 관리기구 운영
- 주요 도시가 있는 지역에는 지방 행정부 산하 지역 상하수 관리기구 (Regional Water and Wastewater Authority)를 통해 지역 내 상하수 공급 및 관리를 전담(환경부, 2014)

다. 호주(Australia)

- 호주는 물 부족 문제를 해결하기 위하여 일부 지역에는 해수담수화의 역삼투 방법을 이용하여 물을 공급하고 있으며, 물 재이용 사업을 포함한 정부프로그램(국가 도시의 물 및 해수담수화 계획 등)을 통하여 자금이 지원되고 있음(환경부, 2015)
- 행정부에서 각 부처를 총괄 관리하며, 환경 관련 업무조직은 기후변화에너지부, 자원·에너지·관광부, 지속가능성·환경·수자원·인구·공동체부가 있음

- 이 중에 담수화 관련은 지속가능성·환경·수자원·인구·공동체부에서 담당하고 있으며, 생물학적 다양성과 환경보호, 수자원 보호 등의 정책을 추진하고 있음
- 주요 수자원 정책은 수자원의 지속가능한 경영을 보장하기 위한 국가 물 계획(National Water Initiative)을 수립하여 추진하고 있음 (한국환경산업기술원, 2014)

라. 중국 (China)

- 중국 국가발전계획위원회가 ‘해수담수화 제12차 5년 발전계획’ 및 관련 지원정책을 제정하고, 향후 10년간 해수담수화 설비 분야에 최대 150억 위안을 투자
- 주요 투자는 반 침투막 법 (투자비의 약 67%) 기술 분야를 중심으로 한 해수담수화 설비의 국산화 비율을 90% 이상 대체하는 방향으로 투자함 (정보통신산업진흥원, 2011)
- 국가해수이용기술연구센터(國家海水利用工程研究中心)와 중허(衆和)해수담수유한 공사 등 20개 연구소와 기업들로 구성된 해수이용 기술혁신포럼이 공식 발족하였음. 포럼의 취지는 전국적으로 기술역량을 동원하여 3~5년 내 해수이용 플랜트 기술 분야에서 혁신을 촉진하고, 해수이용 산업의 체계적인 유석방안을 모색할 계획임.
- 2005년부터 해수이용 전용계획을 마련하여 핵심플랜트 기술개발과 체계적인 산업육성을 위해 꾸준히 노력해왔으며, 전략적 해양신산업 육성계획에도 해수이용 산업을 포함시켜 적극 추진하고 있음.

2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 담수화 시장 현황

국내 시장현황

- 국내 기후변화로 인한 대체수자원 확보 필요성 증가
- 해수담수화 시장은 주로 도서지역을 중심으로한 소규모 시장이 형성
- 기장플랜트 및 광양플랜트로 인한 일부 대형 시장 형성
- 부산시와 수자원공사를 중심으로 각각 100,000 m³/d 규모의 해수담수화 플랜트 계획 중

가. 예측하지 못하는 기후변화에 따른 수자원 확보의 필요성 급증

- 지속적인 인구증가와 도시환경의 발전은 생활환경의 질적인 관점에서 수자원에 대한 요구를 급증시켰음.
 - 수자원관리의 필수적인 인자 중 하나는 수요와 예측을 조절하는 것임. 그러나 산업발전에 따른 CO₂의 배출은 필연적으로 전 지구적 차원의 온난화 효과를 유발하였으며, 이에 따른 기후변화는 기존의 수자원 예측을 어렵게 함
 - 기후변화는 기존 수자원 정책의 큰 흐름에 대한 수정을 지속적으로 요구
- 국내 기후는 지속적으로 변화하여 그림 11과 같이 1990년 초반에 비해 2014년 현재 상황을 볼 때 겨울철 수자원 확보가 매우 심각한 상황임
 - 현재 계절에 따른 잦은 가뭄빈도로 인하여 물부족 사태가 초래
 - 댐에 절대적으로 의존하는 국내상황으로 가뭄에 대한 대처수단이 사실상 전무
 - 농업용수의 절대적인 부족사태 초래
- 기후변화와 강우패턴 변동, 수자원의 지역적 편중 등에 따른 가용수자원의 확보와 분배는 국가 경쟁력 확보와 삶의 질 향상을 위해 필수적
 - 전 세계 수자원 확보의 중심은 지표수 및 지하수로 이는 절대적으로 기후에 따른 강우량에 의존함. 그러나 이러한 수자원은 전체 수자원의 97.5%가 염수로 존재하기 때문에 1%

내외이며, 가용 수자원 분포는 지역적으로 치우쳐 있어 전체 인구의 67%가 불충분한 물로 인하여 고통을 받거나 받을 수 있는 것으로 조사됨

- 우리나라는 물 관리 요주의 국가로서 1인당 강수량은 연간 2,629톤으로 세계 평균의 6분의1 수준에 불과함. 2012년 OECD가 발표한 보고서에 따르면 한국의 '물 스트레스'지표(물 수요량 ÷ 가용 수자원 총량)는 OECD 국가 중 유일하게 40%가 넘어섬으로써 '심각한 물 스트레스 국가'로 분류됨. 따라서 산업의 지속적 발전을 위해서 수질 및 수량적으로 안정된 수자원 공급을 위한 대체 수자원 확보의 필요성 시급

표 3. UN의 물부족 국가의 정의

물부족 정도	정의	해당인구
물 부족	매년 1인당 1,000 m ³ 이하	7.8 %
물 스트레스	매년 1인당 1,000 -1,699m ³ 이하	24.5%
불충분한 물	매년 1인당 1,700 -2,999m ³ 이하	34.7%
상대적으로 충분	매년 1인당 3,000 -9,999m ³ 이하	16.7%
풍부한 공급	매년 1인당 10,000m ³ 이상	16.3%

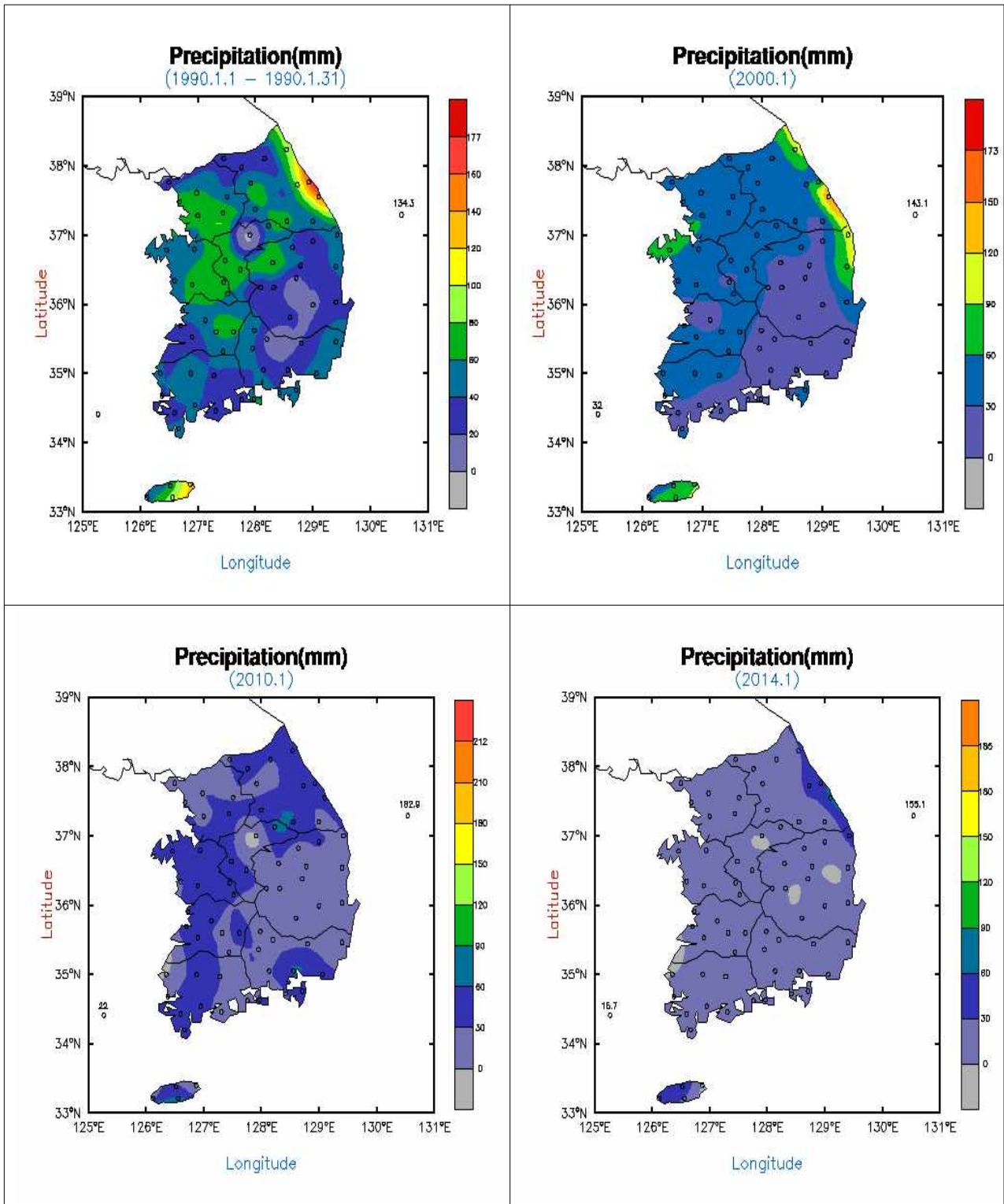


그림 11. 국내 강수량의 변화 (기상청 홈페이지 참고)

○ 국내 수자원 확보 현황

- 표 4는 국내 취수시설에 대한 현황자료로서 **국내 수자원 확보수단이 지표수 이용에 극단적으로 치우쳐져 있음**을 보여줌

표 4. 2013년 국내 취수시설 용량 (2014 상수도 통계, 환경부)

구 분	지하수	기타 저수지	댐	하천 복류수	하천 표류수	계
취수량 (천m ³ /일)	534	379	16,073	1,629	18,569	37,181
비율 (%)	1.5	1.0	43.2	4.4	49.9	100

- 현 수자원 확보수단 중 댐건설은 개발비용증가와 환경적인 측면에서의 문제점으로 인하여 추진여건이 어려워지고 있으며, 하천 표류수는 지속적인 수질오염에 따라 갈수록 고도화된 정수처리를 요구하고 있는 상황
- 그림 9은 1981년 이후 수질 오염원의 발생원이 변화되는 것을 보여주는 것으로 1981년은 대부분이 생활하수였으나, 2011년에는 도시의 발전으로 인한 오염원 배출과 축산 등의 비점오염원 배출이 크게 증가한 것을 나타냄. 이러한 오염원은 처리되지 않고 지표수 및 지하수 등에 흘러들어감에 따라 수자원 오염을 가중시키고 있음
- 국내 대체수자원 확보의 범위는 중수도, 강변 여과수, 지하댐, 해수담수화 플랜트 등으로 구성되어있으나, 중수도는 먹는 물로서 공급이 불가함에 따라 한계가 명확하며 강변 여과수 및 지하댐은 여전히 기후에 의존한다는 단점이 존재
 - 중수도는 대단위 사업체를 중심으로 점차 확대되고 있으나, 음용수로 사용이 불가함에 따라 적용범위가 제한적
 - 강변 여과수에 대한 개발이 확대되고 있으나 전체 취수량에 비해 극히 미비 (5개소, 336,000 ton/d, 환경백서 2012)
 - 지하댐은 일반 저수지보다 증발이 적고 수질오염도 적지만 유지비용이 많이 들고 대용량의 물을 확보하기는 어려워 소규모 (30,000 ton/d 내외)로 운영되며, 적용범위가 대부분 농업용수를 대상으로 함. 2011년 이후로 이에 대한 국내 개발계획은 전무

나. 대체 수자원 확보 기술 중 해수담수화 기술에 대한 수요 증대

- 최근 지속적으로 발생하는 기후변화로 인하여 기후에 절대적으로 의존하는 지표수 및 지하수 등의 기존 수자원을 대체할 수 있는 **지속가능한 수자원의 필요성 증대**

- 그림 13은 2030년 물부족에 대한 예측자료로 중동 및 아시아, 아메리카를 중심으로 물 부족 확률이 75% 이상 될 것으로 예측되고 있음

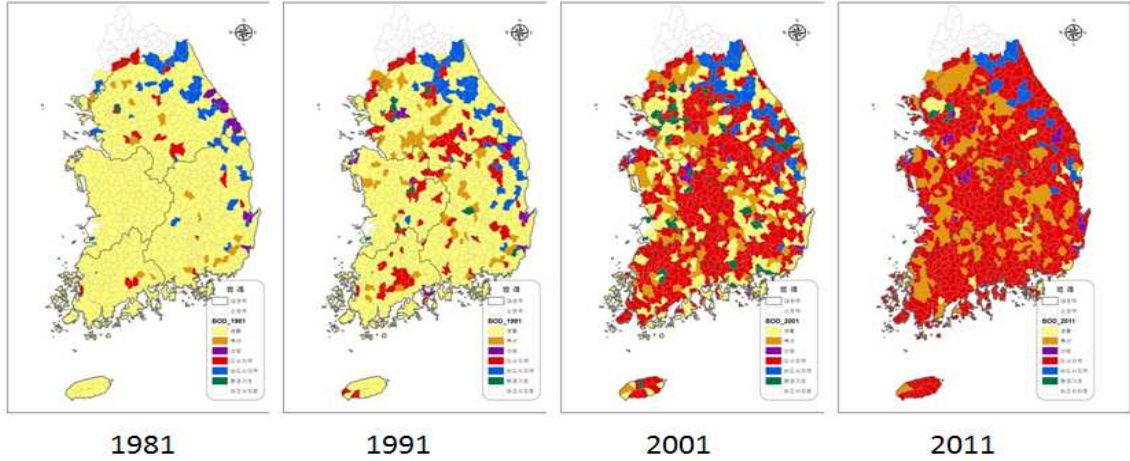


그림 12. 1981년 이후 수질오염원의 변화
(이병국, 한국내 수환경 관리를 위한 다음단계, KEI, 2014)

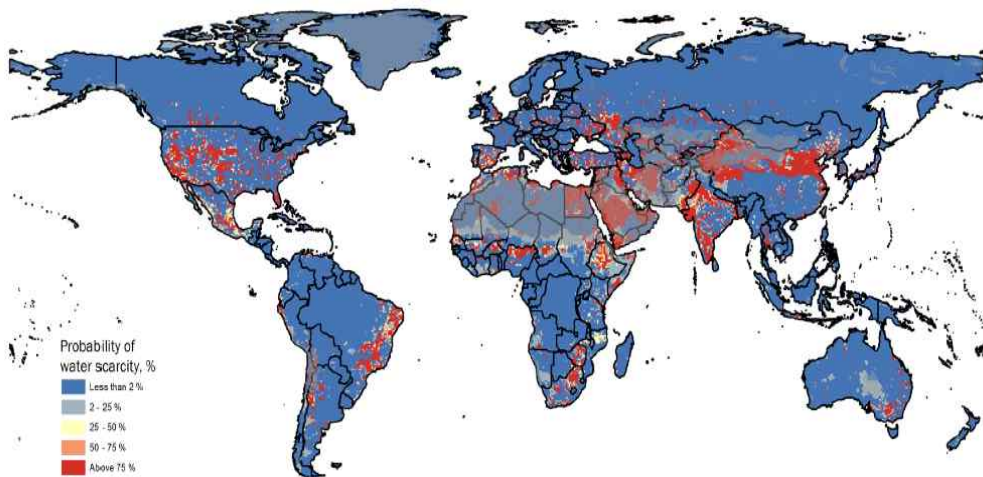


그림 13. 2030년 물부족 국가의 예측 (Global Water Market 2015, GWI)

- 대체수자원으로서 가장 대두되고 있는 것은 대표적으로, 빗물, 하수재이용, 해수 등이 있음
- 해수는 지구상에 존재하는 수자원의 97.5%를 차지하는 지속가능한 수자원으로 현재 발생하는 기후변화로 인한 가용 수자원확보 문제를 해결할 수 있는 유일한 대체수자원임
- 지속가능한 대체 수자원으로서 내륙지역은 재이용수, 해안 인접지역은 해수를 중심으로

활용할 것으로 예측되며, 두 대체 수자원을 위한 활용기술로 역삼투 담수화 기술이 지속적으로 적용될 것으로 예측

- 국내 광역상수도 및 지방상수도가 건설되기 힘든 도서지역을 중심으로 지속적으로 해수담수 시설이 증설되고 있음
 - 국내 해수담수화 플랜트는 총 248 개소가 운영 중에 있으며, 이 중 217개의 플랜트가 역삼투 방식 해수담수화 공정임(약 87.5%). 나머지 31개 플랜트는 담수 방법에 따라 분류하면 전기투석법 (Electrodialysis) 20개 소, 전기탈이온공정 (Electrodeionization) 6개 소, 다중효용법 (Multi-effect Distillation) 2개 소, 나노여과공정 (Nanofiltration) 1개 소, 기타 2개 소로 구분됨. 아래 그림 14는 한국에서 운영되고 있는 해수담수화 플랜트의 규모별 분포와 위치 및 생산규모를 요약한 것임(역삼투 방식 해수담수화플랜트 공정고도화 기술 개발 2차년도 계획서, 2015)
 - 또한, 국내 해수담수 플랜트 중 약 70%가 도서지역에 위치해 있으며, 이들은 주로 그 규모가 1,000 m³/d 미만인 소규모 담수화 시설임

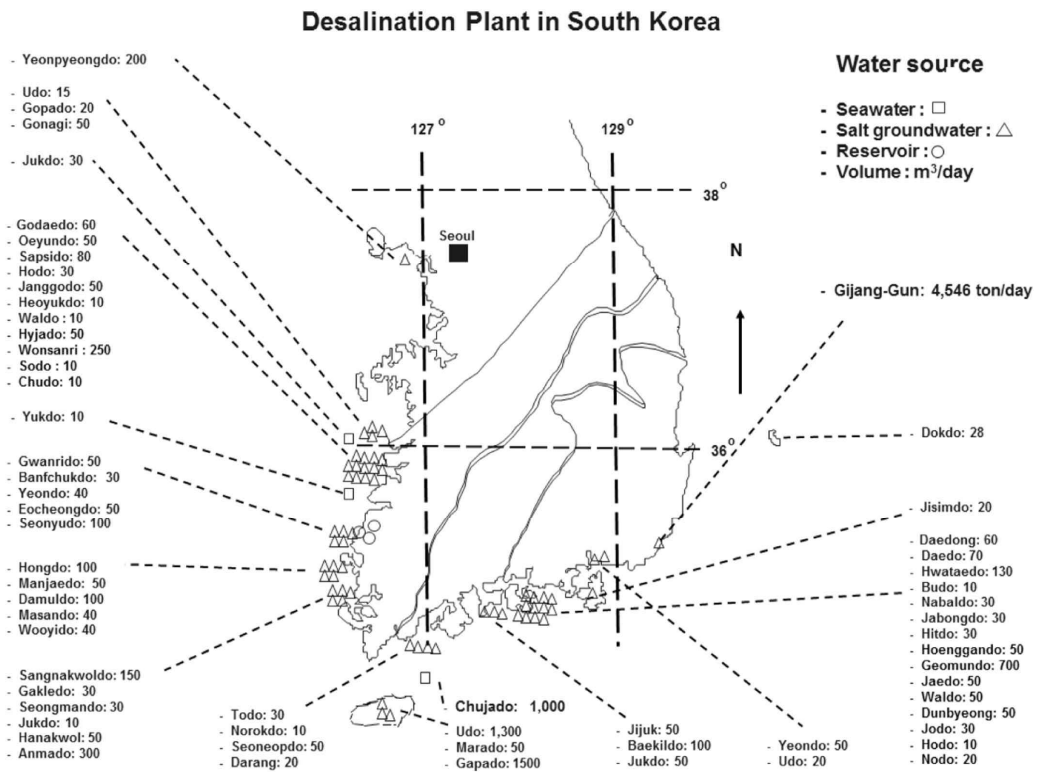
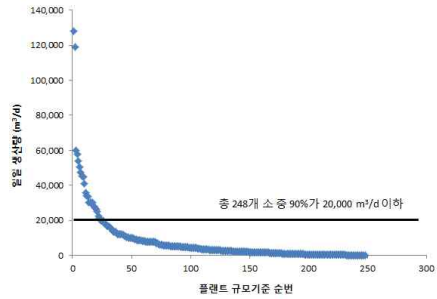
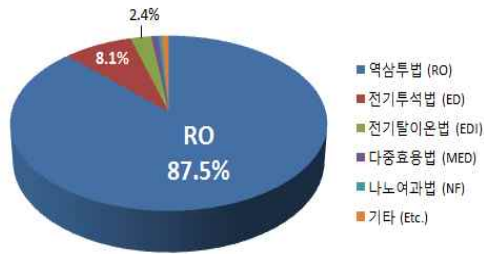


그림 14. 국내 해수담수화 플랜트 현황

- 포스코건설은 **광양공단에 해수담수화 시설(3만톤/일)**을 건설/운영 중에 있으며, 그 외 인천, 울산, 여수, 포항, 속초 등 수자원이 부족하거나, 송수비용이 큰 지역에서 해수담수화 사업성을 검토 중에 있음.
- 국내 기업의 담수플랜트 수주는 대부분 중동지역을 중심으로 증발법 방식의 담수화플랜트 수주를 이어가고 있음. 주요 사업자 중 **두산중공업이 가장 많은 수주**를 하고 있으며, 현대건설, 현대중공업, 대림건설 등도 일부 수주하고 있다. 특히 최근의 담수플랜트 수주는 종전에 증발법 방식에서 역삼투법 담수플랜트로 전환되고 있는 추세를 보이고 있음.

- 해수담수화 용도에 따라 생활용수용의 경우 유인도서를 대상으로 지속적으로 증가될 계획이며, 댐 건설이 점차적으로 어려워지면서 해안지역을 대상으로 **광역상수도 단위의 대용량 건설이 예상됨**. 현재 부산시에서 100,000 m³/d 규모의 **광역상수도**와 수자원공사에서 100,000 m³/d 규모의 **해수담수화 플랜트**를 계획중에 있음
- 공업용수용의 경우 국내에서는 석유화학단지에 기수를 공업용수로 이용하기 위하여 담수화 시설을 이용하고 있으며 국내를 기반으로 중동 등 해외에서의 수주를 위하여 역삼투법에 대한 관심이 고조화되고 있음. 또한 기상이변과 환경오염으로 인하여 물부족과 물값 상승으로 점차 그 규모가 확대될 것으로 예상하고 있음.
- 또한 2015년 극심한 가뭄에 의한 하천, 댐의 담수 여건 악화에 따라 대체 수자원으로서 해수담수화 시설에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되며, 정부에서는 가뭄 대비 수자원 확충을 통해 도서지역 등 소규모 해수담수화 시설의 지속적 개발 추진 계획을 수립(2015.09, ‘수자원의 체계적 통합관리 방안’, 관계부처 합동)하였으며, 2016년 2개소(인천 강화시 소연평도, 소청도) 신설 및 3개소(보령 삼시도 및 고대도, 서귀포시 가파도)에 소규모 시설을 증설할 계획이며, 대규모 해수담수화 시설로는 포스코 광양제철소(30,000 m³/일 규모, ‘14년~), 부산시 기장군(45,000m³/일 규모)에 구축되어 있음.

2 국외 담수화 시장 현황

가. 국외 해수담수화 플랜트 기술 및 시장 현황

국외 시장현황

- 역삼투방식이 해수담수화 시장의 90%를 점유
- 중동지역이 해수담수화 시장의 절대적 비중을 차지하고 있음. 특히 이 지역은 경제적 가치가 큰 대형플랜트 위주임
- UAE 지역은 2017년 이후 발주량 면에서 가장 많을 것으로 예상
- 타 지역은 해수담수화와 기수담수화의 혼재, 특히 미국의 경우 기수담수화 비중이 큰 것으로 분석

- 그림 15에 나타난 것처럼 2014년을 기준으로 해수담수화 시장은 경제위기로 인하여 급격하게 축소되었으나, 2015년을 기준으로 다시 확대되고 있는 추세임.
- 2014년 기준으로 담수화 공정은 총 85.2 백만톤/일이며, 이중 해수담수화공정이 59%임
- 또한 그림 15는 해수담수화 시장에서 역삼투 공정이 절대적인 비중을 차지하고 있다는 것을 명백하게 보여주고 있음
- 2014년을 기준으로 가장 대표적인 증발식 공정 중 하나인 MED공정은 단 한 개의 발주도 없었음

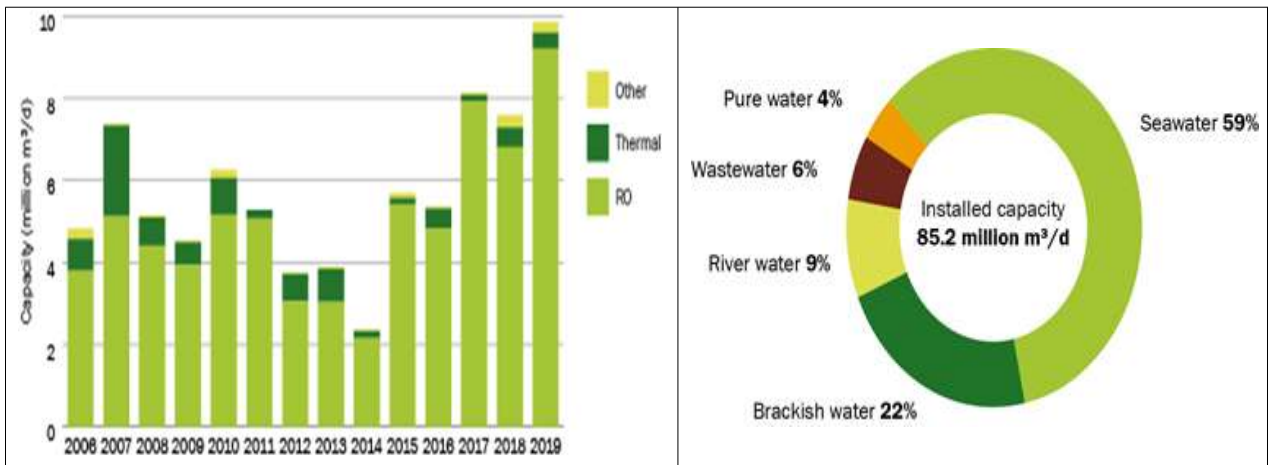


그림 15. 2014년을 기준으로 해수담수화 시장 전망 (Christopher Gasson, Desalination Market Update, 2014, DesalData.com 참고)

- 그림 16은 50,000 ton/d 이상의 대형 해수담수화 플랜트는 시장 내에서 매우 작은 비중을 나타내고 있으며, 대부분의 시장은 10,000 m³/d 이하임을 보여주고 있음
- 담수 시장은 사우디아라비아를 중심으로 중동지역이 강세를 나타내고 있으나, 중국, 오스트레일리아 등이 신흥 강국으로 등장하고 있음 (그림 17)
- 담수시장의 톱 10 국가에서 중동지역이 4개를 나타내고 있으며, 특히 이 지역은 모두 해수담수화 플랜트이며, 타 지역은 Brackish water와 혼합된 사항임. 그림 17의 대형 플랜트는 대부분 이 지역에서 발주되고 있는 상황으로 해수담수화 플랜트 수주를 위해서 이 지역에 집중할 필요가 있음
- UAE의 경우 2017년 이후에는 사우디아라비아 보다 많은 양의 해수담수화 플랜트 발주가 예정되어 있음(Global Water Market 2015, GWI)

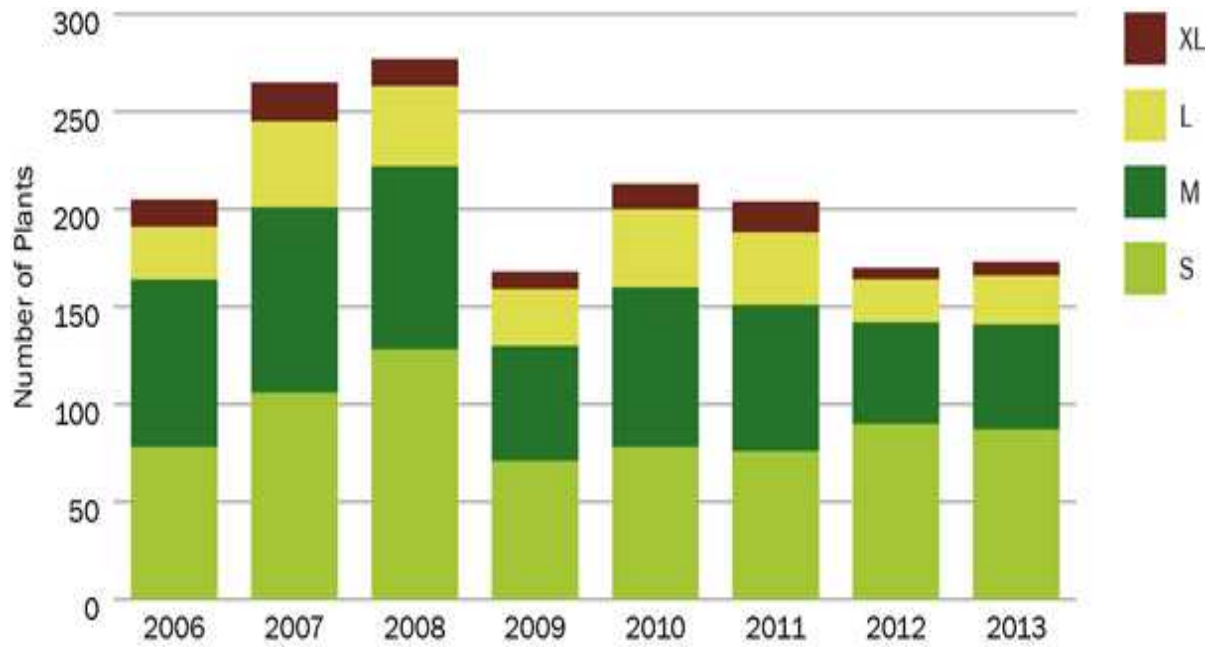


그림 16. 해수담수화 시장내 플랜트 크기에 따른 플랜트 수
 (Christopher Gasson, Desalination Market Update, 2014, DesalData.com 참고)

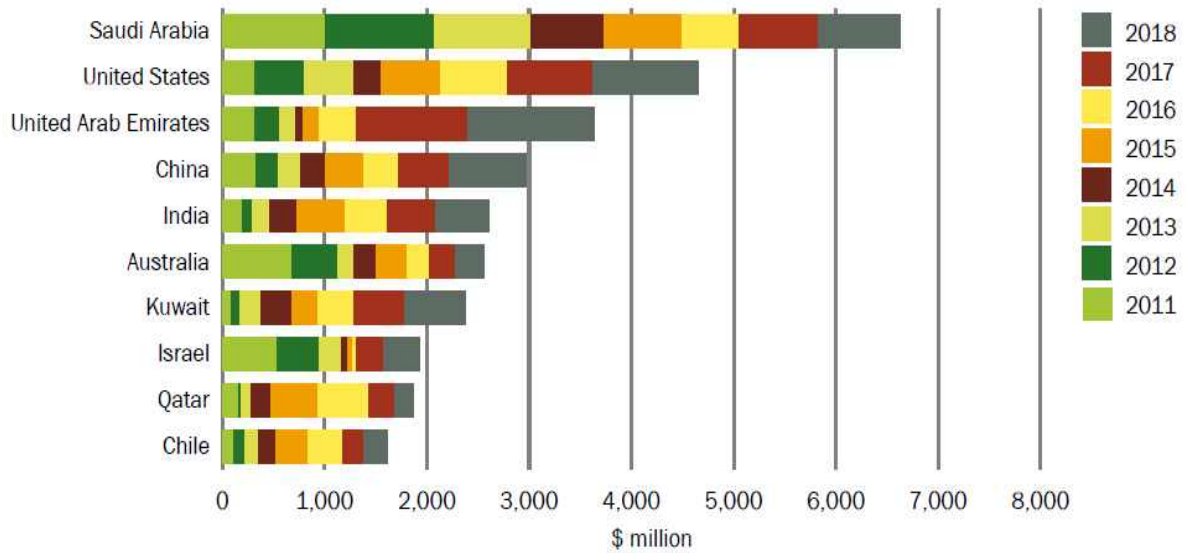


그림 17. 해수담수화 시장의 상위 10개국의 2018년도까지 시장 예측
 (Global Water Market 2015, GWI)

나. 지역별 해수담수화 시장 현황분석

(1) 아메리카 대륙

- 아메리카에는 총 4,483개의 담수화 플랜트가 있으며 미국이나 칠레 등의 국가들에 주로 대용량 담수화 플랜트들이 건설됨. 1960년대에는 MSF, 1980대 이후에는 역삼투 방식의 담수화 기술이 주로 적용되었음.
 - 아메리카 지역의 주요 담수화 기술은 역삼투 공정으로 전체 담수화 공정 기술 중 약 77.5%를 차지하고 있으며, 미국은 가장 많은 담수화 플랜트 (약 2,000 기)를 보유
- 다양한 종류의 유입수가 아메리카 대륙의 담수화 공정에 이용되고 있으며, 이 중 기수가 약 47.2%임. 또한 약 22.8%가 해수를 유입수로 이용하고 있고, 나머지가 수돗물이나 순수한 물, 강물을 유입수로 이용하는 것으로 조사됨
- 칠레는 광산회사가 해수담수화를 통한 용수사용을 의무화하는 법안을 제정하여 추진하였으며, 2020년에는 구리광산용수로 1억7천만톤의 용수가 추가 필요할 것으로 예상
- 멕시코는 해수담수화 사업의 64%를 민간기업이 수행하고 있으며, 특히 SWRO의 경우 94%를 민간에서 담당하고 있음. 또한 멕시코 정부에서는 운영을 포함한 PPP(Public Private Partnership)형태의 사업을 장려하고 있는 실정임.

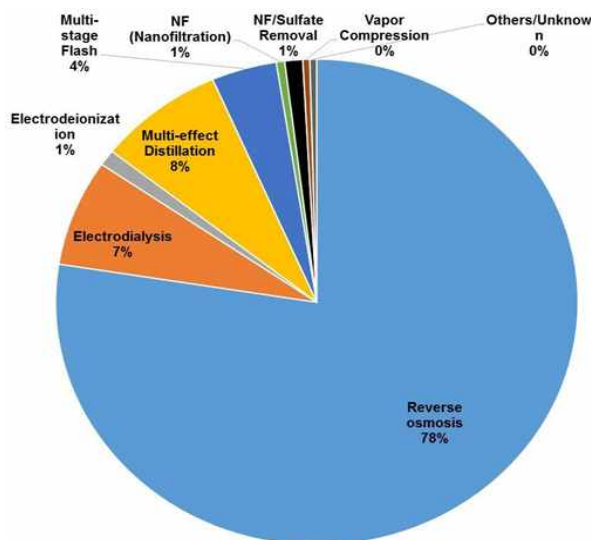


그림 18. 아메리카 대륙의 담수화 기술 분포도

표 5. 아메리카 대륙에서 가장 큰 규모의 5개 플랜트 (물 생산용량, EPC 비용, 생산 가격 기준)

Country	Location	Project name	Output water (m ³ /d)	EPC price (USD)	Water price (\$/m ³)
U.S.A.	Camp Pendleton	San Onofre Nuclear Generating Station	378,500		
U.S.A.	San Antonio	Gulf of Mexico to supply San Antonio, TX	302,800		
U.S.A.	Yuma	Yuma	276,672	251,740,000	
U.S.A.	Redondo Beach California	West Basin	227,199		0.73
Chile	Antofagasta	Minera Escondida	216,000		

(2) 아시아 대륙

- 아시아에는 2015년 현재까지 총 **4,153개의 담수화 플랜트가 건설되어 운영되고 있음**. 그림 19는 아시아 담수화 플랜트의 사용 기술 분포를 보여주는 것으로 역삼투(RO), 전기투석(ED), 전기탈염(EDI), 정삼투(FO), 멤브레인 생물학적 반응기(MBR), 증발법(MD), 다중효용법(MED), 다단증발법(MSF), 나노여과(NF), NF/sulfate removal, vapor compression 등이 있으며 그 중 87%가 역삼투공법(RO)을 사용. 반면 전기투석(ED), 다중효용법(MED), 전기탈염(EDI) 그리고 다단 증발법(MSF) 는 각각 4%, 4%, 2%, 2%를 차지하는 것으로 조사됨
- 그림 20은 아시아 담수화 플랜트의 유입수 특성을 보여주는 것으로 기수 또는 육수, 해수 농축수, 맑은 물 또는 수돗물, 강물 또는 저염도 물, 해수, 폐수가 각각 21%, 0.15%, 24.9%, 13.9%, 28.5%, 그리고 11.5%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 상대적으로 풍부한 수자원 덕분에 아시아 담수화 플랜트에서 사용하는 유입수 종류는 비교적 고르게 분포되는 것으로 분석됨

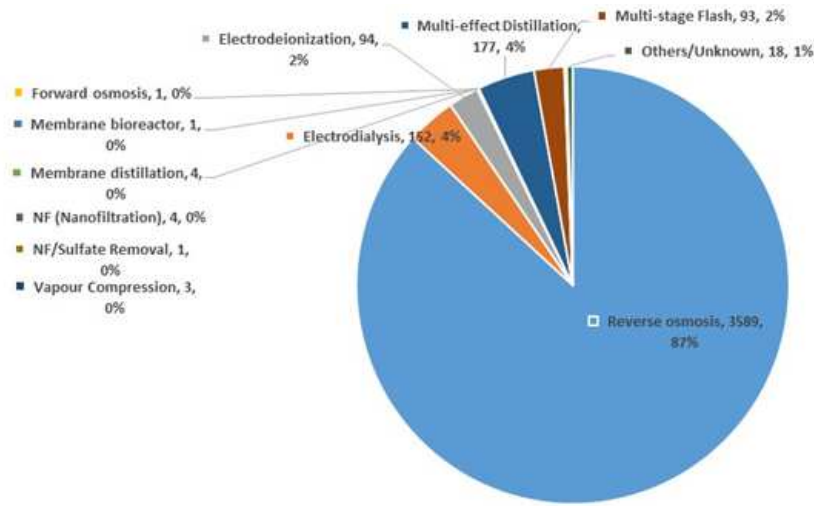


그림 19. 아시아의 담수화 기술 분포도

- 아시아에서 생산수 기준으로 가장 큰 규모의 담수화 플랜트는 Caofeidian 담수 플랜트로 중국에 위치해 있으며 1,000,000 m³/d 규모임.
- 중국은 급격한 도시화 및 경제성장으로 열악한 수자원 여건으로 12차 5개년 계획(Five Year Plan(2012~2017))에 따라 2015년까지 200만m³/day 규모의 담수프로젝트를 계획하고 있으며, 설비 중 70%이상 국산화를 목표로 하고 있다. 하지만 폐쇄적 시장 정책으로 해외 기업들의 접근이 어렵지만 담수화 시장은 선진기술 습득을 위해 개방을 진행하고 있음.

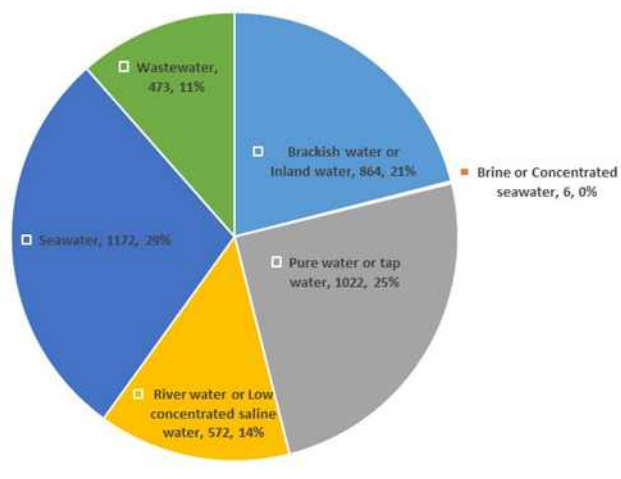


그림 20. 아시아의 담수화 플랜트에서 사용되는 유입수 종류 및 그 분포

- 일본은 성숙된 물 관리 기술을 통해 멤브레인 제조 등 다방면으로 해외진출 전략을 추진하고 있음.
- 인도는 2005년 이후 많은 외국 기업들에게 참여기회 제공을 통해 자국 내 불안정한 수자원 인프라를 개선하고 있음.

표 6. 아시아 대륙에서 가장 큰 규모의 5개 플랜트 (물 생산용량, EPC 비용, 생산 가격 기준)

Country	Project name	Output water (m ³ /d)	EPC price	Water price (\$/m ³)
China	Caofeidian expansion	1,000,000		
Pakistan	Port Qasim Seawater desalination	441,000		
India	Chennai (Perur)	400,000	664,500,000 USD	
India	Dahej SEZ SWRO	336,000	600,000,000 USD	
India	Mumbai	320,000		

(3) 오세아니아 대륙

- 호주는 높은 상수원 보급률을 나타내고 있으나, 가뭄 및 상수원 부족 등의 문제로 담수화 시장이 급성장 될 것으로 전망되고 있음.
- 오세아니아 지역에는 **총 378개의 담수화 플랜트**가 있으며 대부분 호주에 건설 되어있다. 그림 21은 현재 호주 담수화 플랜트에 적용된 담수화 기술을 보여주며, 역삼투 공정, 전기투석, 전기탈염, MED, MSF와 같은 다양한 방식의 담수화 기술이 적용되었음.

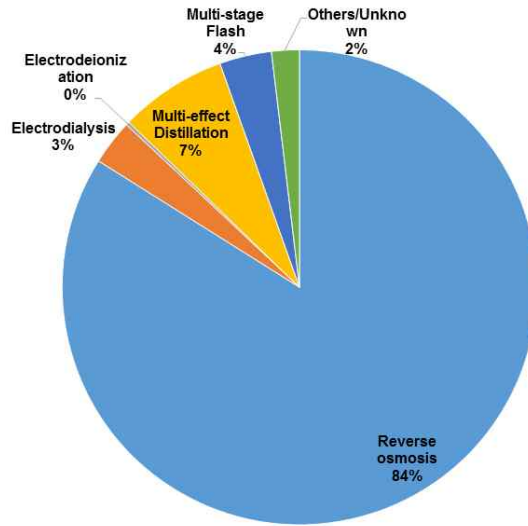


그림 21. 오세아니아의 주요 담수화 기술 분포

○ 담수화 플랜트의 주요 유입수로는 기수와 해수가 각각 약 37%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 나머지가 농축수, 강물 등임. 아래 표 7은 오세아니아 지역 내에 위치한 담수화 플랜트 중 생산용량기준으로 상위 5개 플랜트의 EPC 비용, 물 생산 가격을 보여주고 있음.

표 7. 오세아니아 대륙에서 가장 큰 규모의 5개 플랜트 (물 생산용량, EPC 비용, 생산 가격 기준)

Country	Project name	Output water (m ³ /d)	EPC price	Water price (\$/m ³)
Australia	Wonthaggi (Melbourne, Victoria)	444,000	2,900,000,000 USD	1.23
Australia	Melbourne 2 & 3	411,000	5,492,400,000 USD	
Australia	SE Queensland – Possibly Caboolture	400,000		
Australia	Bribie Island (Brisbane)	400,000		
Australia	Kawana (Brisbane)	400,000		

(4) 아프리카 대륙

- 아프리카 지역은 오랜 유럽의 영향으로 Suez, Agbar 등의 지배적인 시장 확장이 진행중이며, 자국 내 경제적 여건에 따라 점진적인 해수담수화 인프라의 확장이 예상된다.

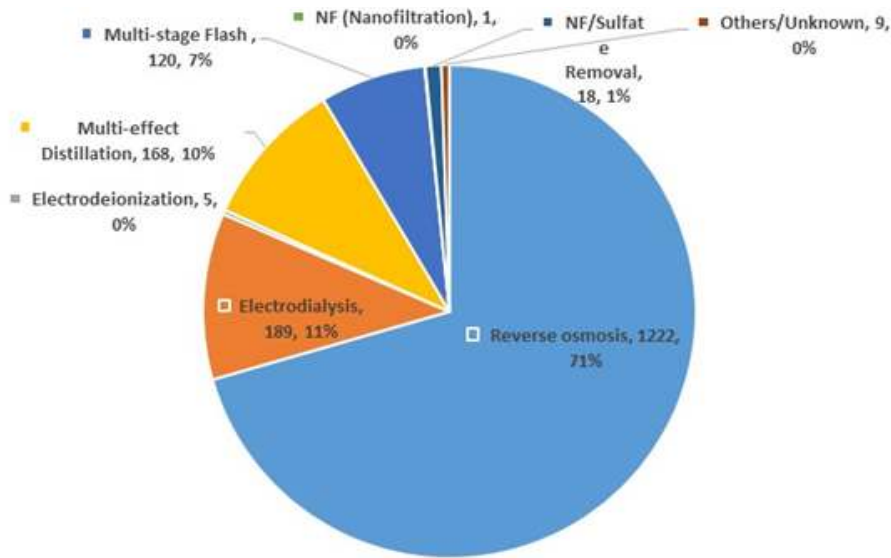


그림 22. 아프리카의 주요 담수화 기술 분포도

- 북아프리카 인접 국가들은 과거 20년 동안 지방 거주자들이 도시로 몰려서 극단적인 인구 쏠림현상이 가속화 되었으며, 특히 대부분의 도시들은 전체 인구의 60%가 사회기반 시설 (물 & 전기) 공급 부족 때문에 고통 받고 있는 실정임. 이런 물부족 문제를 완화하기 위해 아프리카의 많은 나라들은 해수로부터 마실 물을 생산할 수 있는 가능성을 탐색하기 시작함.
 - 아프리카에는 **총 1,745개의 담수화 플랜트**가 있으며 담수화를 위해 사용하는 기술로는 역삼투(RO), 전기투석(ED), 전기탈염(EDI), 다중효용법(MED), 다단증발법(MSF) 등이 있음.
- 심각한 물부족 문제를 겪고 있는 북아프리카 (리비아, 알제리, 모로코, 이집트, 튀니지 등)의 대부분 나라에서는 이용 가능한 지하수나 담수 자원이 제한되어 있기 때문에 바다가 새로운 수자원으로써 각광을 받고 있다. 아프리카 전체 담수화 플랜트의 92%가 해수 혹은 기수를 원수로 이용하고 8%가 해수 농축수 또는 강물, 폐수 등을 사용한다.
- 다음 표 8은 아프리카 생산수량 기준 상위 5개 플랜트의 물 생산량 및 EPC 가격을 보여주고 있음

표 8. 아프리카 대륙에서 가장 큰 규모의 5개 플랜트 (물 생산용량, EPC 비용, 생산 가격 기준)

Country	Project name	Output water (m ³ /d)	EPC price	Water price (\$/m ³)
Algeria	Magtaa	500,000	443,000,000 USD	0.56
Libya	Tripoli East	500,000		
Libya	Tripoli East	500,000		
Libya	Tripoli Cogen	400,000		
Libya	Benghazi	400,000		

(5) 유럽

- 유럽 지역은 포화된 물 시장과 세계적 물기업 보유로 진입이 어려운 시장으로 적극적인 해외진출이 진행 중이며, 미국 등 선진국에서는 노후화로 인한 개량시점 도래로 대규모 자본조달의 필요성이 발생하여 점차 민간기업의 자본 참여 및 개방이 확대될 것이며, 중남미 지역에서도 수자원 여건 개선을 외국 기업의 참여를 확대하고 있음.
- 유럽에는 총 2,933개의 담수화 플랜트가 있으며 세계적인 담수화 처리 생산능력을 가진 대륙 중 하나임. 유럽에서는 마실 수 있는 물을 생산하기 위한 다양한 담수화 기술들이 이용되고 있는데, 특히 가장 많이 사용되는 공법은 RO, MED, ED 그리고 MSF이고 각 공법은 유럽 전체 담수화 플랜트의 78%, 9%, 5% 그리고 4%를 차지함.

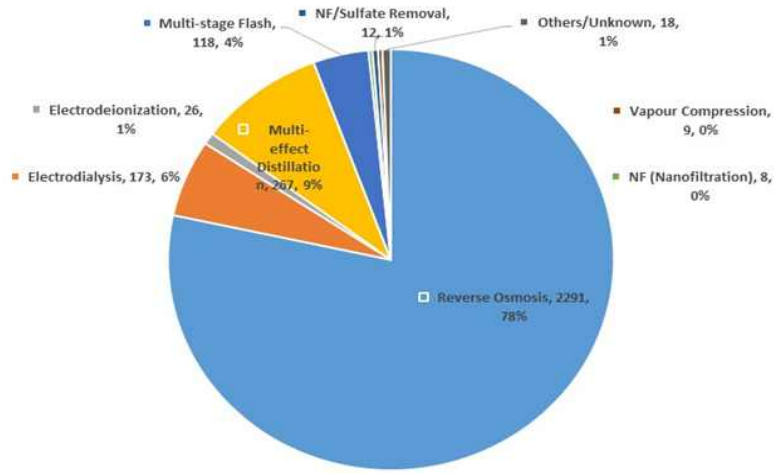


그림 23. 유럽의 담수화 플랜트 기술 분포도

- 그림 24는 유럽 담수화 플랜트의 유입수 특성 분포를 보여주는 것으로 기수, 해수, 강물 또는 염분이 낮은 물, 순수 또는 수돗물, 폐수 그리고 해수 농축수가 담수화 유입수로 사용되었고, 각각은 유럽 담수화 플랜트 유입수 분포의 38%, 35%, 12%, 8%, 6% 그리고 0.5%를 차지하는 것으로 조사됨

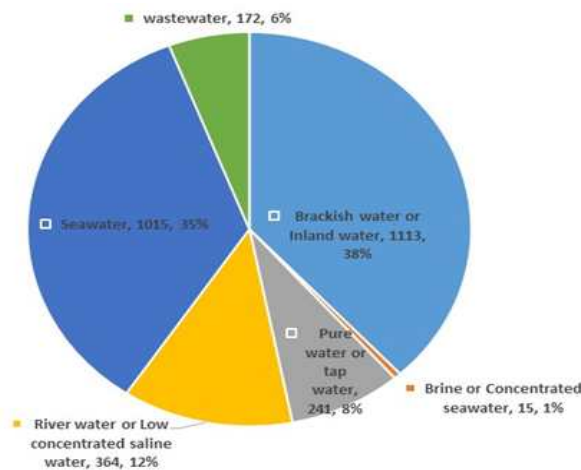


그림 24. 유럽의 담수화 플랜트에서 사용되는 유입수 종류 및 그 분포

- 아래 표 9는 유럽의 물 생산량 상위 5개의 담수화 플랜트의 EPC 가격과 물 값을 나타내는 것으로 상위 5개 플랜트 모두 스페인에 건설되었으며, 이미 1964년도부터 음용수 생산을 위해

- 담수화 플랜트를 이용한 것을 알 수 있음. 특히 스페인 정부에서 추진하고 있는 AGUA 프로젝트 (40억 유로 규모의 프로젝트로 약 20개소의 담수화 플랜트를 신축 혹은 리모델링하는 것이 주요한 사업 목표)로 인해서 향후에도 담수화 시설의 규모의 증가가 예측됨
- 스페인은 대부분 해수담수화 플랜트를 소규모로 민간기업이 소유하고 있으며, 950여개의 플랜트 중 절반이 500m³/day 이하를 생산하고 7%만이 2만m³/day를 생산하고 있음.

표 9. 유럽에서 가장 큰 규모의 5개 플랜트 (물 생산용량, EPC 비용, 생산 가격 기준)

Country	Project name	Output water (m ³ /d)	EPC price	Water price (\$/m ³)
Spain	Torre Vieja	240,000	297,000,000 EUR	
Spain	El Prat del Llobregat	200,000	150,000,000 EUR	
Spain	Abrera	200,000		0.26
Spain	Aguilas Guadalentin	180,000	329,000,000 USD	
Spain	El Atabal	165,000	55,000,000 USD	

3. 신재생에너지 융합 해수담수화 플랜트 현황

기술 현황

- 해수담수화에 가장 많이 사용되는 것은 태양에너지이며, 아직까지는 소규모 플랜트 위주로 적용
- 대용량 플랜트는 가능성 정도만 추정되고 있음
- 경제성 면에서 아직까지 부족한 것으로 분석

○ 신재생에너지 융합 해수담수화 공정은 각각의 종류별 결합에 따라 범위가 넓게 적용됨

표 10. 신재생에너지 별 잠재적 적용가능 해수담수화 공정

신재생에너지원	대표적 해수담수화공정				
	MSF	MED	VC	RO	ED
태양열	○	○			
태양광				○	○
풍력			○	○	○
지열	○	○			

○ 현재 일반적인 해수담수화 공정에 비해 비교적 소규모 플랜트에 적용되고 있으나, 경우에 따라서 대형 플랜트에도 적용가능성이 조사됨

○ 유럽을 중심으로 기술개발이 활발하게 이루어지고 있으나, 생산수 가격이 1.5€/m³ ~ 30€/m³ 범위까지 형성 (표 11 참조)

※ 생산수 단가는 적용기술, 유입수 염도, 환경적조건 등의 변수에 의존

○ 소형시장으로 중심으로 시장이 확대될 것으로 예측

- (1 m³/d 이하) 생수 (Bottle water) 시장과 모바일 water 시장을 대상

※ Solar still, solar-MD 등이 적용 기술로 예상

- (10 m³/d 이하) 소규모 단위의 마을이나 호텔 등을 대상으로 개발

※ PV-RO 등이 적용 기술로 예상되나 실제 모든 기술이 적용대상이 될 수 있음

- (1,000 m³/d 이하) 섬지역의 일반적인 마을과 대규모 호텔 및 리조트 단지를 대상으로 개발

※ 전력공급 등이 불안정한 지역을 대상으로 초점을 맞추며, wind-RO, wind-MVC등이 대상

- (1,000 m³/d 이상) 일반적인 생활용수로 공급되나, 호주등과 같은 정책적 고려사항이 있는 경우 등에 국한

○ 신재생에너지 시장은 오스트레일리아, 중동 지역을 중심으로 변화

- (오스트레일리아) 잠재력이 크며, 섬 지역을 중심으로 발전

※ 137,000 m³/d 규모의 신재생에너지 융합공정 및 995 백만 호주달러 투자계획 발표

- 중동, 아프리카 등 신재생에너지의 잠재력이 큰 국가를 중심으로 발전가능성이 큰 것으로 평가되며, 풍력과 태양에너지에 집중되는 경향을 나타냄

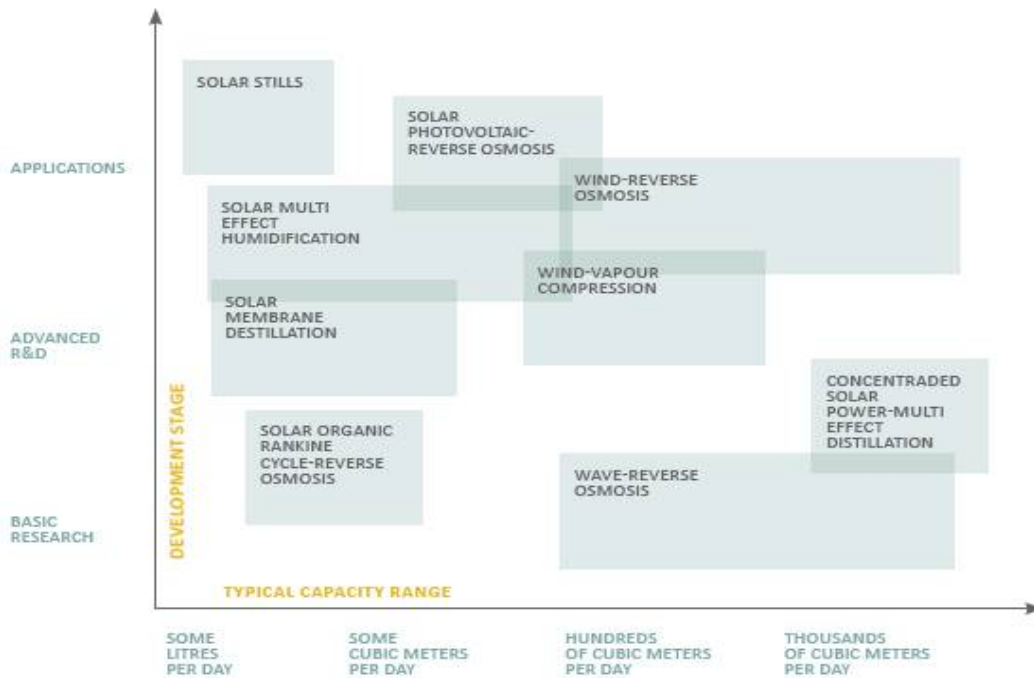


그림 25. 신재생에너지 융합 해수담수화 공정의 기술개발 현황
 (Roadmap for The Development of Desalination Powered by Renewable Energy, ProDes project report, Intelligent Energy Europe, 2010 참조)

표 11. 가장 활발하게 연구된 신재생에너지 융합공정의 생산수 단가 추정 (ProDes 프로젝트 신재생에너지 융합 담수개발 로드맵 참조)

신재생에너지 융합공정	생산수 단가 (€/m ³)	조건사항
Off-grid wind powered seawater RO systems	1.07	- 1,000 m ³ /d - 연간 운전시간 : 5,200 시간 - 에너지 소비율 : 3.3 kWh/m ³
Seawater PV-RO	11.81	- 100 m ³ /d - 연간 운전시간 : 3,000 시간 - 에너지 소비율 : 6 kWh/m ³
Brackish water PV-RO	8.29	- 100 m ³ /d - 연간 운전시간 : 3,000 시간 - 에너지 소비율 : 1.6 kWh/m ³
Brackish water PV-EDR	8.47	- 100 m ³ /d - 연간 운전시간 : 3,000 시간 - 에너지 소비율 : 3.31-3.65 kWh/m ³
MED+solar pond	1.44	- 6,000 m ³ /d - 연간 운전시간 : 8,320 시간 - 에너지 소비율 : 2.25 kWh/m ³
CP solar collectors+biomass-MED	4.84	- 6,000 m ³ /d - 연간 운전시간 : 8,320 시간 - 에너지 소비율 : 2.25 kWh/m ³

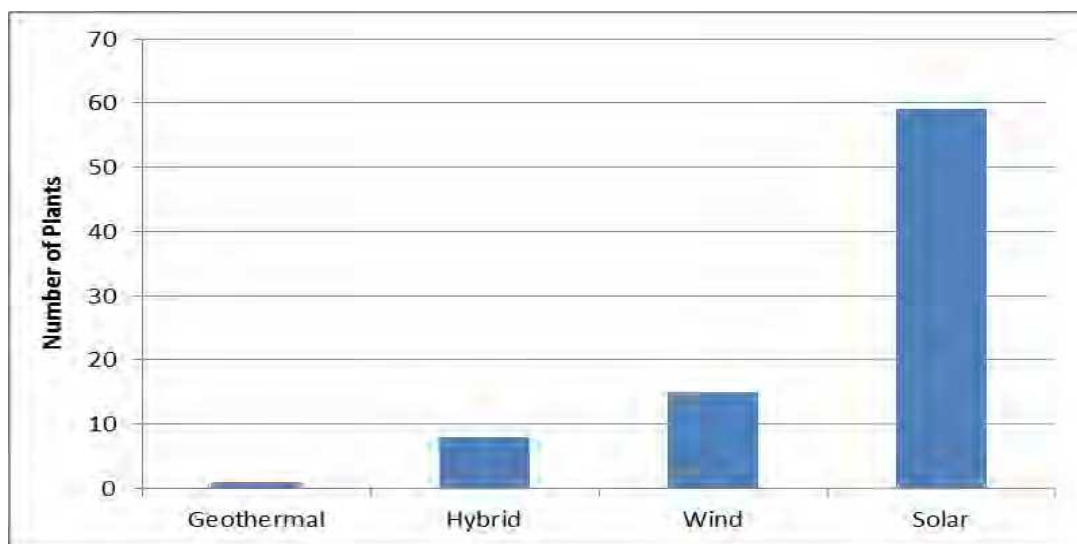


그림 26. 신재생에너지 종류별 플랜트 수 (2010)

(Key Issues for Seawater Desalination in California, Energy and Greenhouse Gas Emissions, www.pacinst.org)

4. 해수담수화 시장변화에 따른 국내의 대처

국내의 대처

- 역삼투 해수담수화 플랜트 기술 개발을 통해 시장변화에 대처 (선진국 추격형 R&D, 해수담수화 플랜트 사업단)
- 현시장 대처용 O&M 기술개발 및 선도형 R&D로 정삼투, 막증발법 등의 신공정 기술에 대한 연구
- 시장에서의 경쟁력은 중위권으로 분류

가. 해수담수화 기술 변화에 대한 국내의 대처 및 기술현황

- 1970년대 사우디아라비아의 역삼투 방식 해수담수화 시설 설치를 기점으로 해수담수화 기술은 에너지 사용에 대한 효율성으로 인하여 증발식 에서 역삼투 방식으로 급격하게 변화
- 이에 당시 건설교통부는 2006년 VC 10 분야로 해수담수화 분야를 선정하여 역삼투 방식 기술을 확보하고자 “해수담수화 플랜트 사업단”을 발주하여 급격한 변화에 대처
 - 해수담수화 플랜트 사업단은 칠레의 22만톤 수주 등의 괄목할만한 성과를 나타내고 2014년 11월 최종 종료됨
- 국토부는 현재 및 미래의 해수담수시장의 우월적 지위를 지속적으로 확보하기위해 다양한 연구단을 발족시켜 연구 중에 있음
 - 2013년 미래형 해수담수화 플랜트 중 하나인 막 증발법 (Membrane Distillation)을 중심으로 하는 G-MVP 연구단이 발족되어 현재 3년째 연구중
 - 2014년 미래형 해수담수화 플랜트 중 하나인 정삼투 공정 (Forward Osmosis)를 중심으로 하는 FOHC 연구단이 발족되어 연구 중에 있음
 - 2014년 현 시장에서 요구하는 O&M 기술개발을 중심으로 하는 SeaHERO2 (공정고도화) 연구단이 발족되어 연구 중에 있음

나. 국내 기술개발 수준

○ 해수담수화플랜트 사업단의 기술개발 수준

- 해수담수화 시장 변화에 대한 대처를 위해 선진국 추격형 R&D 출범 (증발식 → 역삼투 방식)
- 기술적 목표 : 대형화 (8MIGD), 저에너지 (4kWh/m³)를 중심으로 설정
- 추격형 R&D는 종료시점에서 선진국의 기술개발에 의해 격차가 존재할 수 밖에 없는 구조
- 에너지 효율성 면에서 총 5개의 기술력 (역삼투막, 고압펌프, 에너지 회수장치, 트레인설계, 생산수 단가)를 비교한 것이 표 12에 요약됨

표 12. 해수담수화 플랜트 사업단의 (2007~2014) 기술적 성과

항 목	성 능	세계 최고 수준	기술 격차	비고
역삼투막	16인치 제조, 9,000 GPD (11,000 GPD 실험실 수준)	12,000 GPD 상용화	3년	웅진케미칼이 트레이에 합병
고압펌프	8.3 MIGD, 효율 85%	12.5 MIGD 효율 88.5%	5년	-
에너지 회수장치	에너지 회수효율 95% 검증단계	효율 98% 상용화	3년	타입이 다름
트레인 설계	8 MIGD	-	-	세계 최대 규모
생산수 단가	1,000 원/m ³ 내외 (0.94\$/m ³ , 1061원/\$ 기준)	0.6 \$/m ³ 내외	10년	O&M 기술 전무

○ 국내 기술력의 종합적 수준

- 증발식 중심으로 형성되었을 때 세계 선두권의 경쟁력이 있었으며, 현재도 두산 중공업 을 중심으로 증발식 분야에서 선두권 유지
- 역삼투 방식에 있어서는 11위권으로 2009년 이후 역삼투방식 해수담수화 플랜트 국내 수주량은 칠레의 220,000 m³/d의 플랜트를 수주한 것 외에는 전무.
- 역삼투 방식에 있어 국내 기술력은 세계 중위권 수준으로 가장 대표적으로 국내 에너지 소모량은 3.8-4.0 kWh/m³ 수준이며 현 시장 경쟁력을 위해서는 플랜트 전력 소모량이 3.0 kWh/m³ ~ 3.5 kWh/m³ 범위에 존재해야 함

- 생산수 단가는 0.92 \$/m³ 내외로 0.75 \$/m³의 수준과는 거리가 존재

다. 국내 기술의 해수담수화 시장에서의 경쟁력

○ 해수담수화플랜트 시장에서 한국의 기업 위상이 점차 하락

- 해수담수화 시장 진출 기업 다변화의 긍정적인 신호가 도출
- 2012년 이전까지 (주)두산중공업만이 세계 시장에서 경쟁하고 있었으나, 2015년 이후 삼성, GS 등이 동반 진출하는 성과를 얻었음.
- 그러나 전체 수주 물량에서는 2012년까지 세계 시장에서 3위의 경쟁력을 확보한 상황이나, 2015년 최고 순위가 삼성 엔지니어링의 11위일 정도로 하락했으며, 전체 20위권 3개사의 합산 수주량이 비올리아의 약 1/3 수준으로 하락
- 이러한 결과는 2012년 이전은 증발식 수주 물량에 기인한바가 크나, 이후 역삼투 시장으로의 변화에 대한 늦은 대처, O&M 기술 부족에 따른 BOT/BOO 시장 진출 실패 등에 따른 상황으로 분석

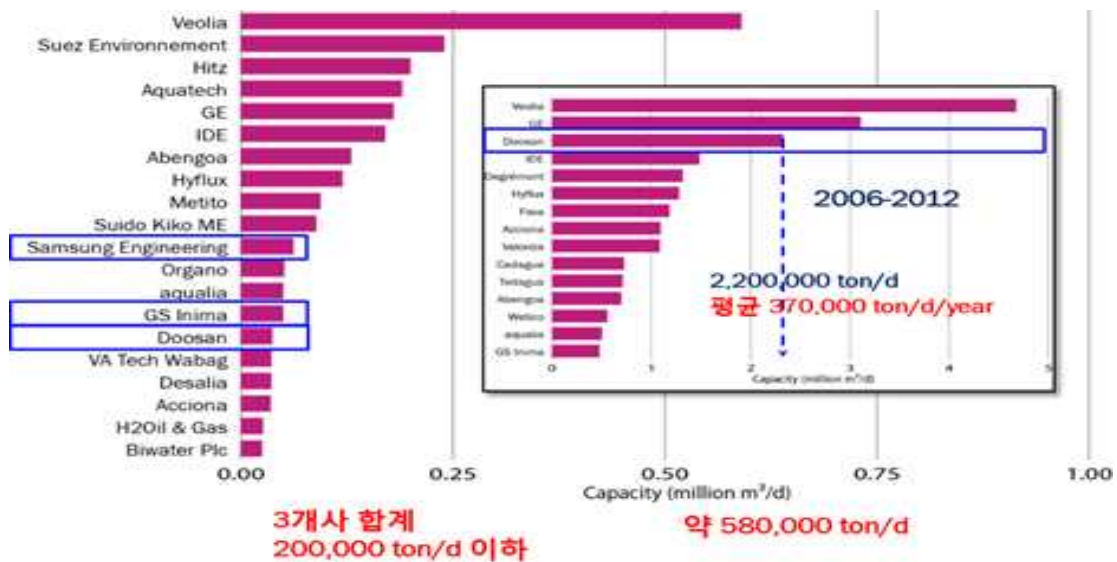


그림 27. 2015년 한국기업의 해수담수화 플랜트 시장에서의 수주실적 (GWI, Desalination Market 2015 참고)

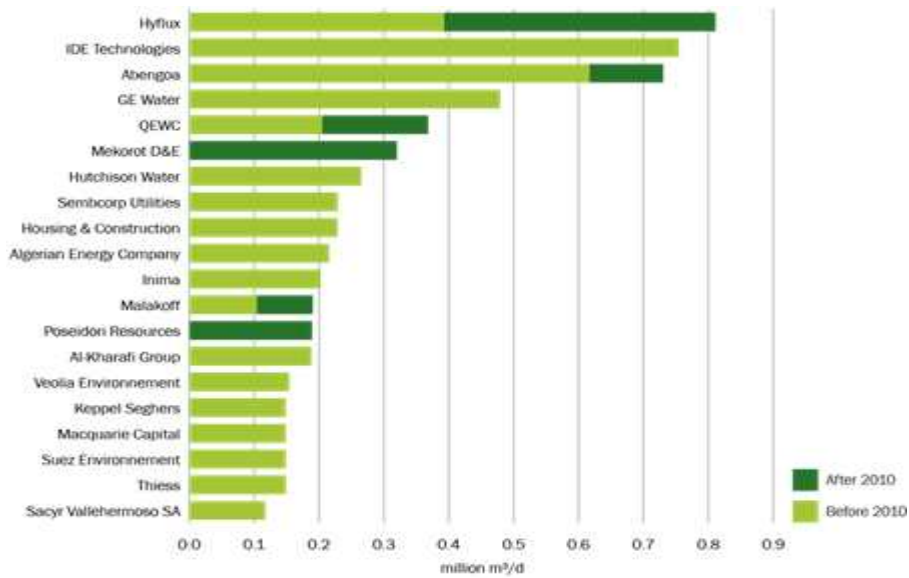


그림 28. BOT/BOO 수주 현황 (국내기업 전무)
(GWI, Desalination Market 2015 참고)

5. 국제공동 기술개발을 위한 중동지역 분석

가. 중동지역의 해수담수화 시장

중동지역 분석

- 중동지역은 전세계 해수담수화 시장의 50% 이상으로 증발법이 유일하게 지속적으로 발주되는 특징
- 모든 중동지역에서 2017년부터 급격한 해수담수화 발주가 예상

○ 그림 29에서 볼 수 있는 것처럼 전체 해수담수화 시장 중에서 중동과 북 아프리카 지역의 시장이 전체 약 50%를 차지하고 있음.

- 또 하나의 특징으로 중동/북 아프리카 지역에서만 MSF/MED 등의 증발식 시장이 있다는 것을 알 수 있음. 그밖의 지역은 전반적으로 역삼투 방식의 해수담수화 플랜트 기술만이 발주가 되고 있으며, Latin America 지역 등의 시장이 상대적으로 작다는 것을 알 수 있음

- 중동에는 총 4,860개의 담수화 플랜트가 있으며 대표적인 중동의 담수화 기술로는 막 기술에 기반한 역삼투(RO)와 다단 증발법(MSF), 다중 효용법(MED)등의 증발법이 있으며, 그림 30은 통계적으로 막 기반 공법과 증발법이 중동의 담수 생산량을 동등한 비율로 차지하고 있는 것을 보여주고 있음.
- 중동지역은 세계에서 가장 많은 담수화 플랜트가 위치한 곳으로써 담수화 초기에는 중동의 풍부한 화석 연료를 이용한 증발법을 이용한 플랜트가 주를 이루었으나, 현재에는 약 79%의 플랜트가 역삼투 공법을 사용하고 있다.

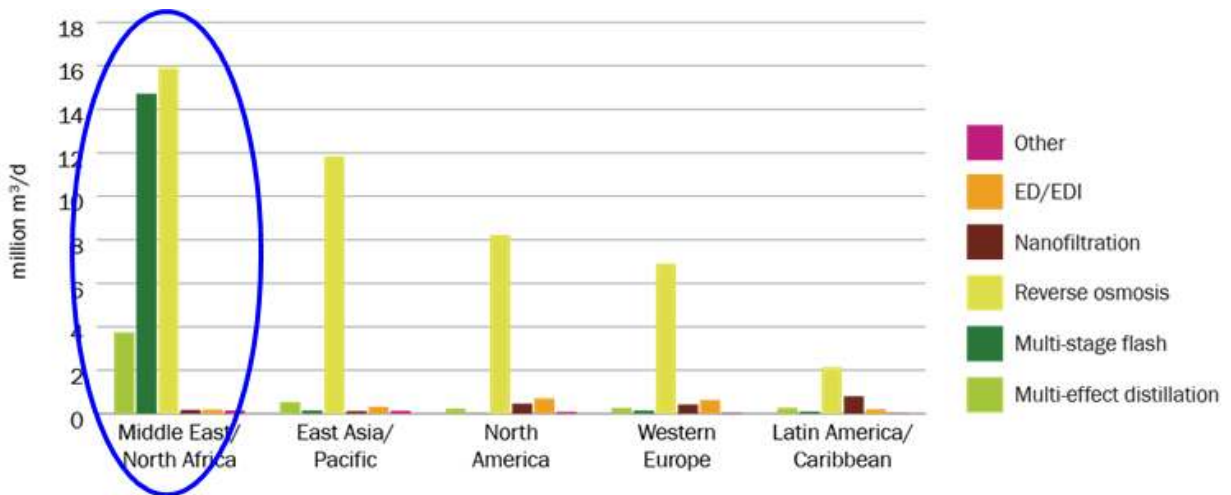


그림 29. 지역별 해수담수화 시장 현황 (GWI, Desalination Market 2016 참고)

- 중동 지역의 유입수 분포는 기수 또는 육수, 해수 농축수, 맑은 물 또는 수돗물, 강물 또는 염도가 낮은 물, 해수, 그리고 폐수는 각각 57.3%, 0.6% 0.9%, 3.1%, 37.3%, 그리고 0.9%를 차지하고 있음. 아래 그림 31은 중동지역의 유입수 특성 분포를 나타내는 것임

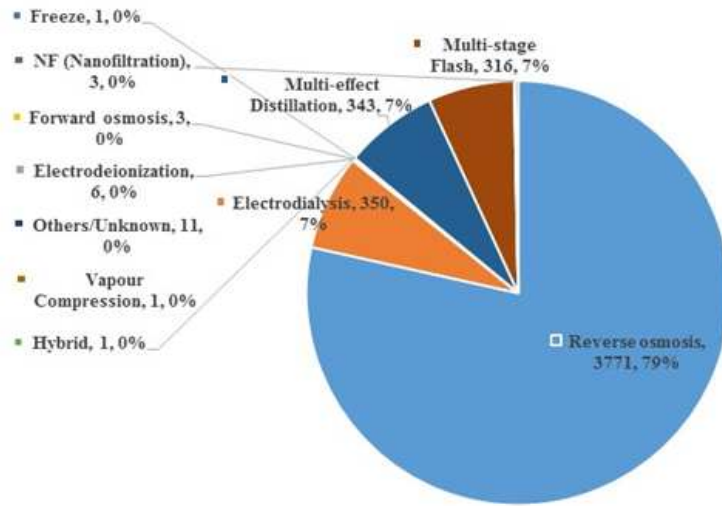


그림 30. 중동 지역의 주요 담수화 기술 분포도

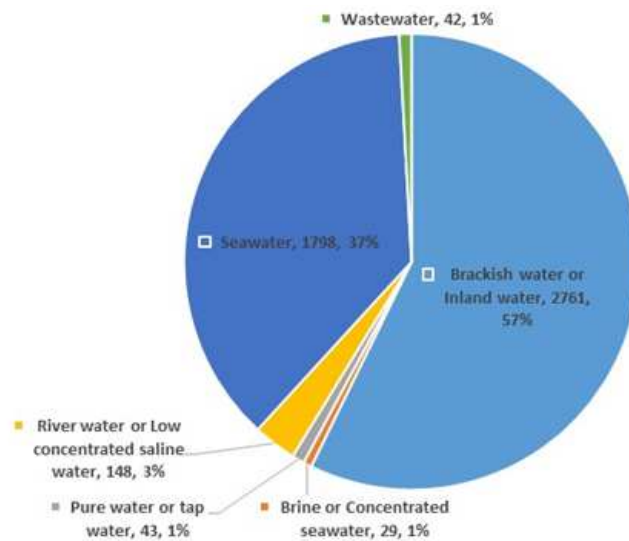


그림 31. 중동 지역의 담수화 플랜트에서 사용되는 유입수 종류 및 그 분포

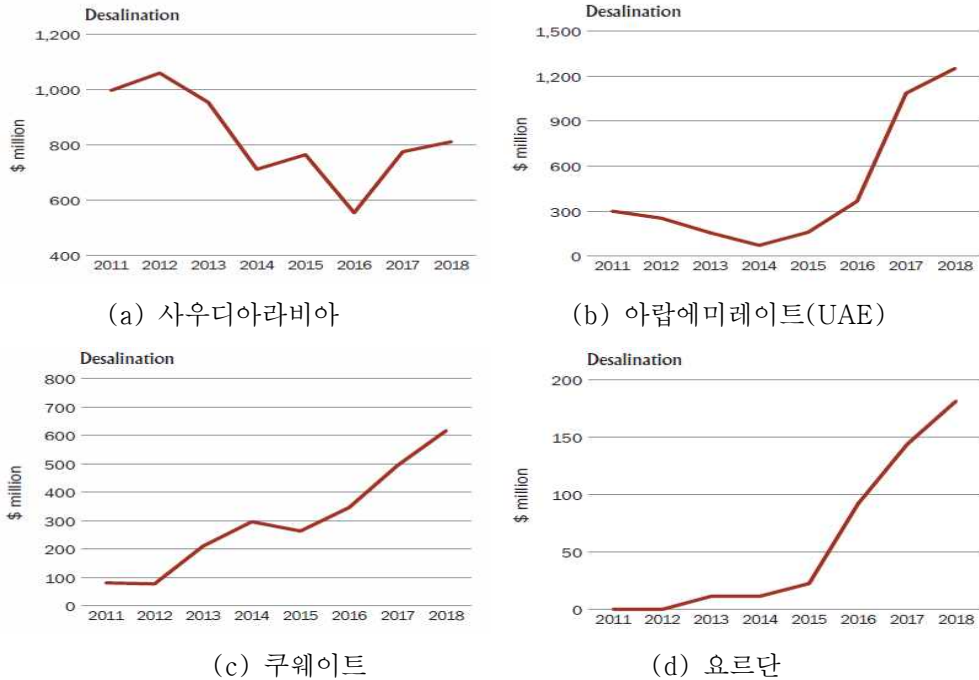
○ 아래의 표 13은 중동 지역의 물 생산량 상위 5개 플랜트의 물 생산량, EPC 가격, 물 가격을 나타내고 있음. 물 생산량 상위 5개 플랜트는 모두 사우디아라비아에 위치해 있으며, 가장 많은 물 생산량을 가진 플랜트는 Jubail 3으로 1,500,000 m³/d으로 조사됨.

표 13. 중동지역 물 생산량 상위 5개 플랜트 특성

Country	Project name	Output water (m ³ /d)	EPC price	Water price (\$/m ³)
Saudi Arabia	Jubail 3	1,500,000		
Saudi Arabia	Ras Al-Khair	1,000,000		
Saudi Arabia	Shoaiba	880,000		0.57
Saudi Arabia	Shoaiba IWPP	850,000		
Saudi Arabia	Al Jubail	800,000	945,000,000 USD	0.827

- 사우디아라비아는 충분한 재정을 바탕으로 담수화 중심의 상수원 개발에 지속적인 투자가 이루어지고 있으며, 에너지 부분을 고려하여 기존의 증발식에서 **멤브레인 방식의 해수담수화에 광범위한 투자계획**이 있음. 또한 2012~2022년 175억 USD에 달하는 설비투자를 계획하고 있으며, 2012년 이후부터는 SWRO 방식(20만m³/day 규모)의 발주가 확대되고 있음
 - Riyadh, Jeccah, Mecca, Taif 지역에 해수담수화 인프라 구축 계획
- **아랍에미리트**는 증발식 방식의 많은 경험을 보유하고 있으며, 외국 기업과의 교류(Build-Own-Operate(BOO))를 통해 저에너지형 해수담수화 기술 도입을 추진중이며, 이를 위해 다양한 **신재생에너지 융합 해수담수화 플랜트 기술 개발**이 진행되고 있음. 또한 Masdar City에서는 2013년에 Innovation Desalination Technology와 Advanced Desalination Technology(에너지지 생산/회수기술)과 결합된 담수 Pilot Research Project를 발주하였음
- 두바이와 아부다비를 중심으로 담수 프로젝트가 계획되고 후자이라 등의 에미리트에도 담수생산 설비가 들어설 계획으로 증가하는 담수수요를 대응하기 위해 2020년까지 총 400억 달러 규모의 담수 생산시설을 설립할 계획임
- **쿠웨이트**는 풍부한 재정여건에 의해 담수화 중심의 **상수보급율이 100%**에 달하고 있으며, **부품 소재, 운영시장 등이 확대될 것으로 전망**되고 있음
- 요르단 또한 향후 물사용량 증가로 **상수원 개발 및 담수화 부분에 시장이 확대될 것으로 전망**하고 있음

- 오만은 해수담수화 시장규모가 2018년 3억 달러 이상으로 전망되고 있으며, 높은 시장개방 정책으로 프로젝트 개발에서 운영까지 외국 기업의 참여가 활발함



source : *GWI 2015*

그림 32. 중동지역 국가별 해수담수화 시장 전망

나. UAE 지역의 해수담수화 플랜트 특성 분석

UAE 지역 분석

- UAE는 세계 2위 시장이나, 2017년 이후 발주량 면에서 세계 1위로 예측되고 있음
- 물소비량의 80% 이상을 해수담수화 플랜트로 공급
- 총 507개의 플랜트가 존재하며, 두산중공업이 5개 플랜트 수주
- (두바이) 필요 물공급량 대비 플랜트 용량이 충분
- (아부다비) 2016년 이후 필요 물공급량 대비 플랜트 용량이 부족하여 지속적으로 해수담수화 플랜트 물량이 나올 것으로 예상

- UAE는 사우디아라비아에 이어 전체 해수담수화 시장 2위 (미국은 담수를 포함한 시장임)이며, 자국내 총 물 소비량의 80% 이상을 해수담수화 플랜트로 공급
- 한국과 UAE 물산업 협약에 의거 국제공동연구의 대상인 UAE의 플랜트 특성을 분석한 결과 총 507개의 담수플랜트가 존재함 (연구용 및 향후 계획 발주물량 포함)
 - 총 507개의 담수플랜트 중 역삼투 방식이 222개
 - 역삼투 해수담수화 플랜트 용량은 총 2,633,409 m³/d (이중에서 770,000 m³/d는 hold on 상황)이며, 두산중공업에서 170,000 m³/d 후자이라 플랜트 1개 수주
 - 현재 존재하는 대다수의 플랜트가 증발식이며, 향후 발주 플랜트는 대부분 RO 방식임.



그림 33. UAE 지역의 해수담수화 플랜트 상황 (www.desaldata.com)

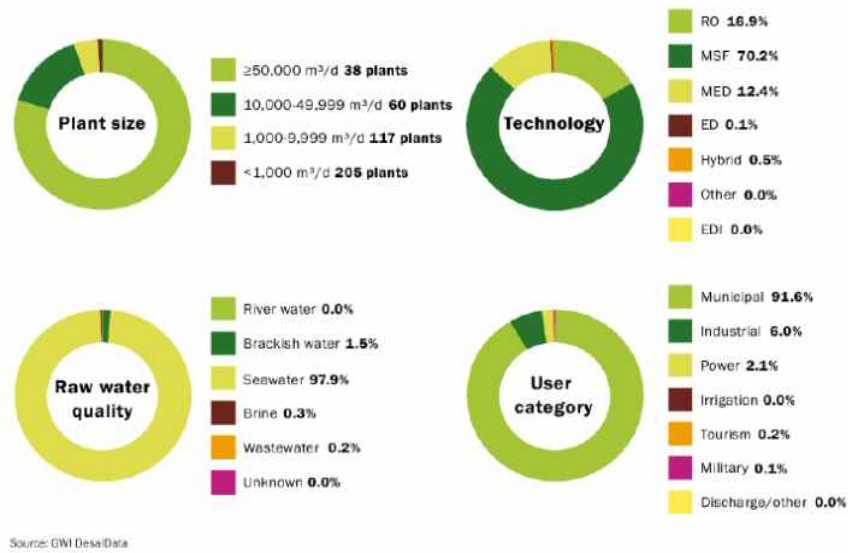


그림 34. UAE 지역의 해수담수화 플랜트 특성 (www.desaldata.com)

다. UAE 지역의 대상지역 및 협력 기관

- UAE의 대표적인 두바이 및 아부다비시 중에서 향후 물수요량 예측에 따라 아부다비시가 향후 사업화 등에 유리할 것으로 판단
 - (두바이) 총 8개의 플랜트가 있으며 470 MIGD (MSF 7개, RO 1개)
 - 담수화 플랜트는 2012년 이후 건설 중단
 - 최대 공급용량 470 MIGD 대비 물 공급 요구량은 316 MIGD로 시설용량에 여유가 있는 것으로 분석
 - (아부다비) 총 916 MIGD의 시설 용량을 갖추고 있음
 - Residential/Commercial Mega Projects로 인하여 급격한 물 요구량이 증가할 것으로 예측
 - 2015년 현재 916 MIGD 대비 2016년 부터 물수요량 부족이 예측되며 이에 따라서 향후 지속적으로 해수담수화 플랜트 건설이 있을 것으로 예상

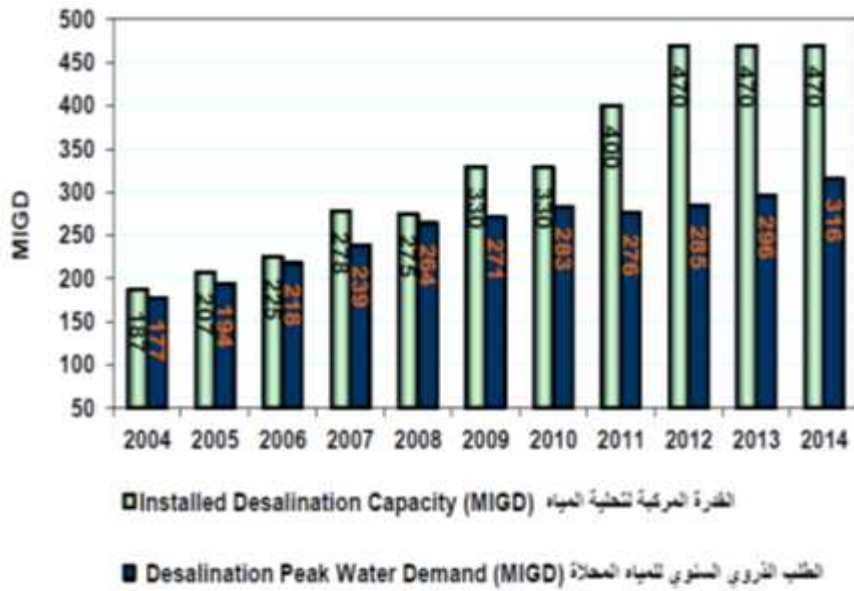


그림 35. 두바이 지역의 해수담수화 플랜트 대비 물 수요량 예측 (Dubai Electricity & Water Authority에서 발간한 Annual statistics 2014 참조)

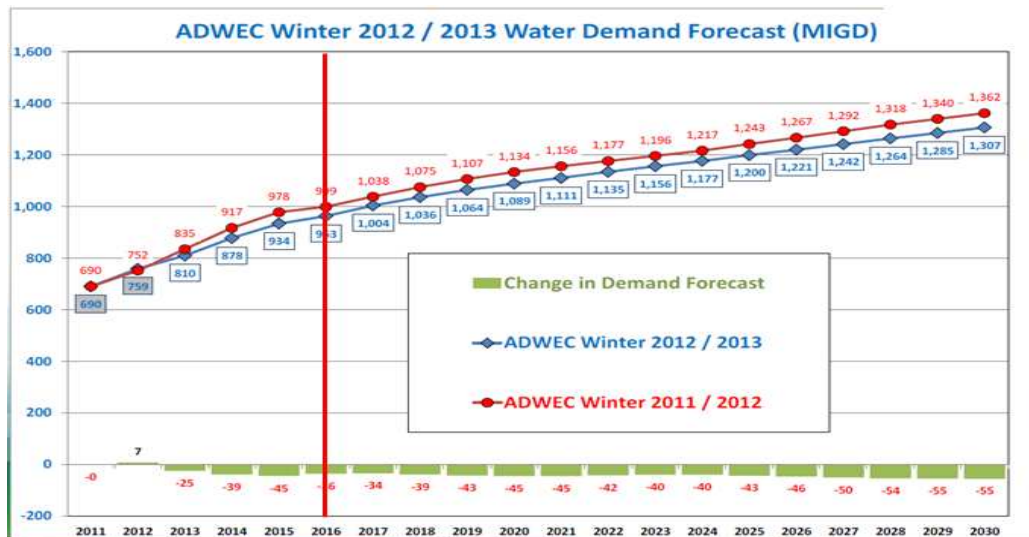


그림 36. 아부다비 지역의 해수담수화 플랜트 대비 물 수요량 예측 (Miller, K., ADWEC Winter 2012/2013 Electricity and Water Demand Forecasts, www.adwec.ae)

- 아부다비시의 전체 물 관리 기관은 Abu Dhabi Electricity and Water Authority (ADEWA) 임
 - 아부다비 내 수/전력청으로 해수담수화 플랜트에 대한 계획, 발주 등의 최상위 기관으로 1998년에 설립함
 - 실제 실무적인 산하기관은 Abu Dhabi Electricity and Water company를 통해 업무 수행
 - 실제 이 두기관은 물량에 따른 발주/계획을 담당하고 있으며, 연구개발 등을 통해 기술의 향상 등과는 거리가 있어 본 기획상 목적과는 거리가 있는 것으로 분석

- 아부다비시의 신재생에너지에 대한 관리 기관은 Mubadala 산하의 Masdar임
 - (Mubadala Development Company) 발주기관이라기 보다는 투자회사의 개념으로 신재생 활용 담수플랜트 기술 개발등을 포함한 새로운 기술 개발 등에 주력
 - (Masdar) Mubadala회사 산하에서 청정 에너지 산업 분야를 담당하고 있으며, Masdar Institue를 통해 연구개발에 중점. 실제 4개 기업과 새로운 담수기술에 대해 검증하고 있는 중

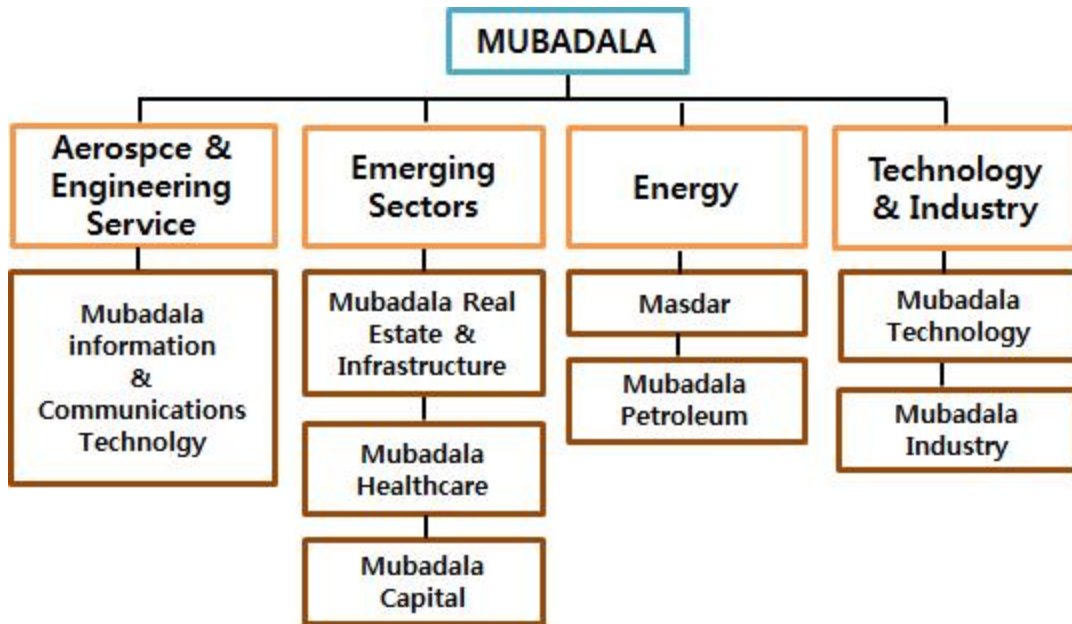


그림 34. Mubadala Development Company 조직도

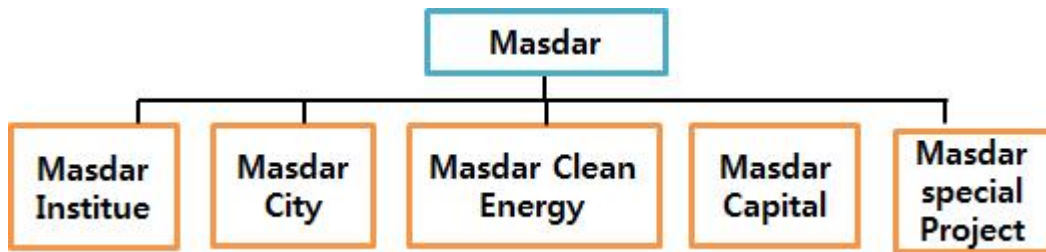


그림 37. Mubadala Development Company 산하 Masdar 조직도

라. UAE의 Masdar 내 국제공동 연구를 위한 기술 개발 전략

○ Masdar 기술개발 프로그램

- Masdar City 계획내 신재생에너지에 의한 전력공급과 함께 에너지 저감을 위한 해수담수화 기술 개발을 목적으로 만들어진 기술 개발 프로그램
- 2013년 시작된 계획으로 Zero waste, Zero carbon을 목표로 추진함. 2025년 완공을 목표로 하고 있으며, 현재 Ghantoot 지역 내에 총 4개의 파일럿 플랜트를 통하여 기술 검증을 실시함
- Sidem-비올리아의 RO 공정, Suez-데그라몽의 이온교환 공정, 아벤고아사의 RO-MD 하이브리드 공정, 트레비 시스템의 FO 단독 공정이 기술 검증되고 있음
- 현재 기술 검증되고 있는 파일럿플랜트의 성능을 기준으로 향후 100,000 m³/d 규모의 플랜트를 기준으로 경제성 평가
- (목표) 42,000 mg/L, 30℃를 기준으로 3.6 kWh/m³ (기존 기술이 시장을 형성한 경우) 혹은 3.1 kWh/m³ 이하의 (기술이 시장을 형성하지 않은 경우) 에너지 효율성과 1.5 \$/m³ 이하의 생산수 단가



그림 38. UAE의 아부다비 마스다기관의 파일럿 플랜트 검증 사이트

○ Masdar 기술 개발 프로그램 벤치마킹

- 국내 기술 개발 전략을 기존 Masdar의 기술 개발 프로그램을 벤치마킹하여 추진
- 기존 제시되고 있는 에너지 3.6 kWh/m³ 이하로 연구목표를 전략적으로 제시하고 마스다르와 함께 검증하는 단계를 통해 향후 사업성에 대한 신뢰성 확보가 중요
- 국내 연구진과 Masdar 연구진의 Collaboration 전략 추진을 통해 연구개발 이후 산업화까지 진행될 수 있도록 연구 추진

3절 기술 동향

1. 관련 특허 동향 분석

특허 분석

- 국내 역삼투공정에 대한 원천 특허는 전무하다시피하고 있으며, 대부분 현재 개발중인 신공정에 대한 것임. 일반적으로 제막과 관련된 역삼투막 관련 특허가 주를 이루고 있으며, 설계등에 관한 것은 전무
- 신재생에너지와 관련한 해수담수화 특허는 아주 소수만 존재하는 것으로 분석

○ 특허검색 엔진 Wips on (<http://www.wipson.com>)을 이용하여 역삼투 공정 관련된 특허를 검색하고 검색결과를 자체적으로 분석 실시. 국내 및 미국의 타 기관의 관련 특허를 확인하기 위하여 국내 특허와 국외 특허를 별도로 검색하였으며, 해당 검색은 트레인과 관련된 언어를 총괄하는 논리식을 사용하였으며 검색기간은 전체 항에 대해서 검색하였으며, 특허공개와 서지공개 사항에 대해서 검색하였으며, 검색어는 서지+요약+대표 청구항에 한하여 검색을 실시함.

- 검색어 : (reverse osmosis) and (apparatus or train or rack or bank or vessel or module)

○ 국내의 역삼투 관련 기술 총평

- 국내특허의 경우 담수화와 관련된 특허가 대부분 신공정과 그에 따른 부속품들에 대한 특허가 주를 이루고 있으며 트레인 연관된 검색 시 도출되는 결과는 65건이며 이중에서도 일반적인 역삼투 공정에 대한 트레인 관련 특허 중 등록 진행상태의 경우 4건에 불과하며 이 또한 최근에 등록된 특허임

- **국내의 기술 동향은 대부분 신공정과 신소재를 사용한 제막 기술을 위주로 하고 있음.** 이는 재래식 역삼투 기술은 국내의 경우 후발주자로서 국외 선도 기업의 기술을 따라잡기 때문에 구식 기술의 발전보다, 새로운 공정의 기술에 집중하여 발전하기 때문으로 사료됨

표 14. 국내 특허 요약

특허명	분류	출원인
압력용기 내 다중 막을 갖춘 회분식 역삼투압 시스템	module design	플루이드 이큅먼트 디벨롭먼트 컴패니, 엘엘씨 (US)
역침투막 모듈의 운전방법	기타	쿠리타 고교 가부시키키가이샤
역삼투막 베셀 내 엘리먼트 간의 플렉스 차이를 감소시킨 고효율의 역삼투 장치 및 이를 이용한 수처리 방법	module design	엘지전자 주식회사 (KR)
역삼투 멤브레인 모듈별 압력 제어식 정삼투 역세척 시스템	cleaning	현대중공업

○ 국내의 트레인 설계관련 기술

- 국내 트레인 관련 특허 중에서 현 과제의 목적과 비교적 유사한 기술은 공개번호

2013-0056711 “역삼투막 베셀 내 엘리먼트 간의 플럭스 차이를 감소시킨 고효율의 역삼투 장치 및 이를 이용한 수처리 방법 (High Efficient Reverse Osmosis Apparatus Having Reduced Flux Difference Among RO Membrane Elements Inside Vessel and Water Treatment Method Using the Same)” 으로 그림 39와 같이 생산수를 전반부와 후반부의 element에서 각기 분리되어 취수되며 이 취수되는 연결관의 압력부위를 조절하여 vessel 내의 플럭스 차이를 감소시키는 기술임

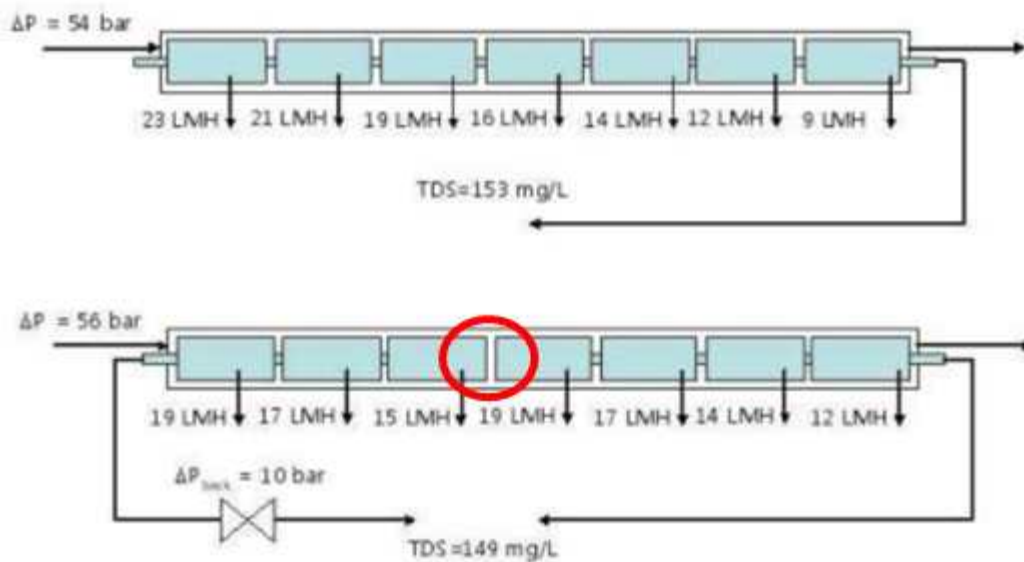


그림 39. 기존 방식과 특허기술 적용 방식의 Flux 차이
(위: 기존방식, 아래: 특허기술 적용 방식)

- 위에서 상세 설명된 특허 이외의 국내의 트레인 관련 특허를 간단히 기술하면 클리닝의 효율 향상을 위한 트레인 설계 방법과 단일 압력용기의 다중막이 회분식으로 운영되는 방법 또한 정기적 간헐적 역방향 통수를 통해서 분리막의 플럭스 저하를 감소시키는 방법이 있음

○ 국외 역삼투 공정 관련 기술 특허 총평

- 국외 역삼투 공정 관련 특허는 총 3,043건이며 이중 1,146건의 역삼투 트레인 관련 및 부품 소재 관련 기술이 검색됨.
- 국외 트레인 관련 특허 중 RO 모듈 설계 방식과 Train 관련 설계방식 관련 특허가 24건 (30%)로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며 압력과 관련되어 있는 기기 에너지 회수장치

와 펌프 관련 특허는 각각 9(11%) 건과 11(13%) 건으로 조사되었으며 RO 모듈을 구성하는 부품인 압력용기와 막 element 관련 특허는 각각 10(12%) 건과 11(13%) 건으로 조사됨. 기타 구동력으로 활발하게 연구 진행되고 있는 모듈단위 구동력으로 신재생 에너지를 사용하는 기술에 관한 특허 4(5%) 건과 Cleaning의 효율적 관리를 위한 설계방식이 5(6%) 건이며 그 외 기타 항목의 경우 트레인의 각 부속품 파이프, 밸브, 모니터링 관련 핵심 부품들에 대한 특허로 총 8(10%) 건으로 조사되었음.

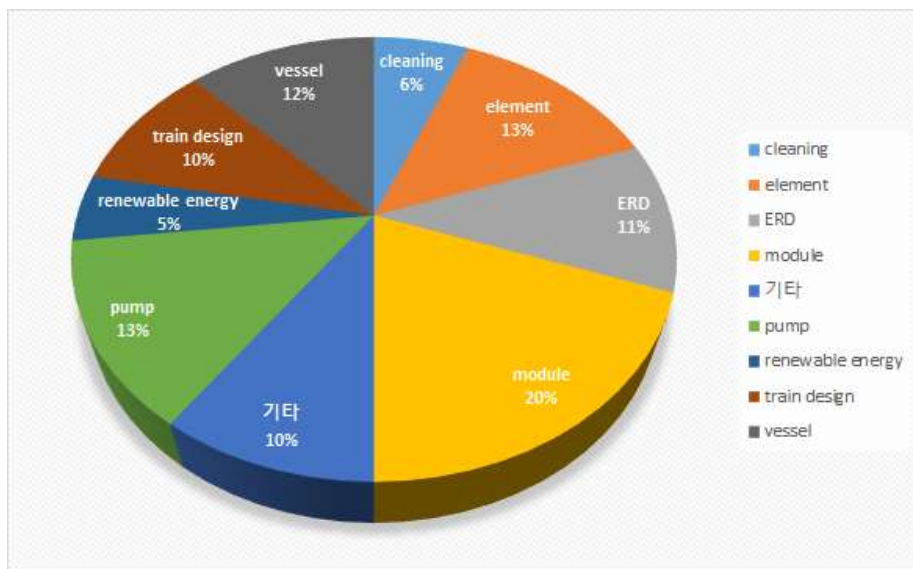


그림 40. 국외 역삼투 방식 트레인 관련 특허 구분

○ 국외 트레인 관련 기술 특허

- Train design 관련 특허는 경우 크게 3가지 항목으로 구분이 가능. 각 트레인 디자인의 목적 별로 stage를 구성하는 stage관련 특허와 최근 공정 Energy Cost의 최적화를 위해서 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 Closed Circuit Desalination (이하 CCD) 관련 특허이며 이외의 기타 물 배분 관련된 특허를 들 수 있음. 각 특허에 대한 대표도면은 그림 41로 나타내었음.

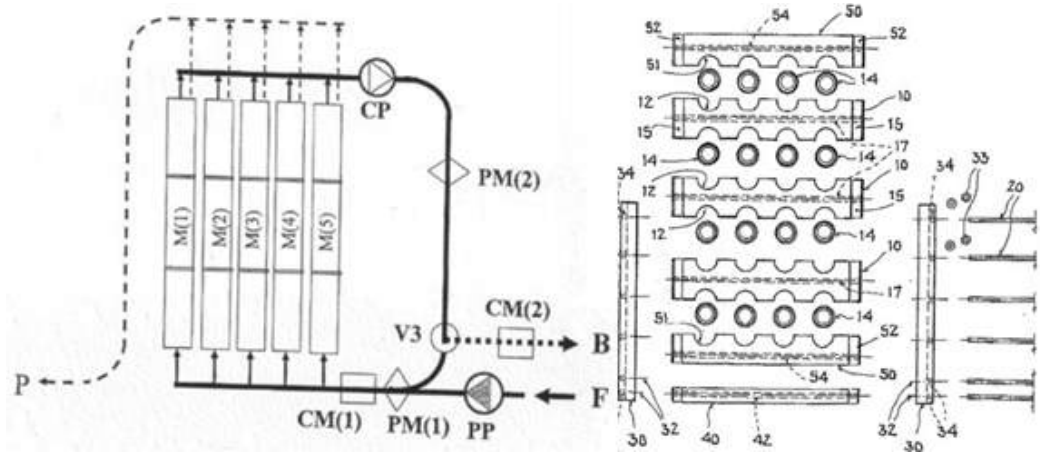


그림 41. Train 디자인 관련 특허의 대표도면
(좌: CCD방식 우: Train 물 배분방식 관련)

- RO 모듈 디자인 관련 특허는 크게 두 가지로 나눌 수 있으며 기존의 재래식 디자인을 사용하여 각 채널의 압력조절을 가능하게 하는 방식과 기존의 방식을 뛰어넘은 새로운 디자인을 사용하는 방법으로 구분됨. 새로운 방식으로는 크게 스플릿 파샬 방식 및 Internally staged design (이하 ISD) 등이 있음.

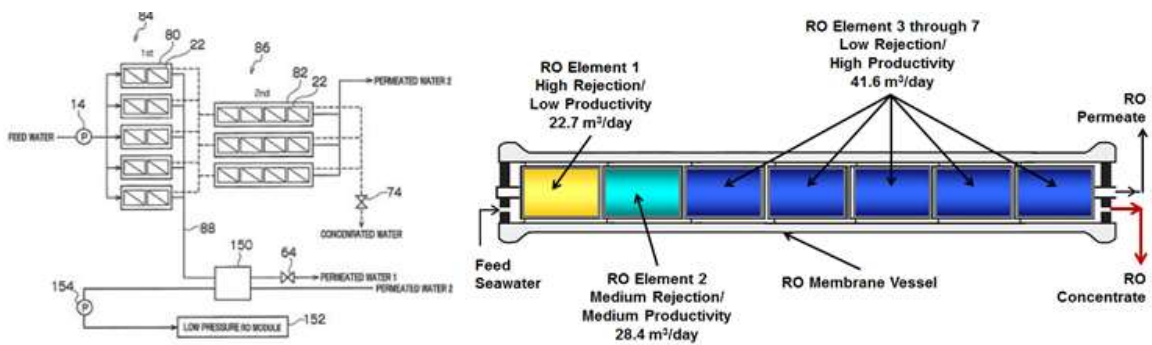


그림 42. RO 모듈 디자인 관련 특허의 대표도면
(좌: 스플릿 파샬을 이용한 2 stage 디자인 우: ISD 디자인 모듈)

- 스플릿 파샬은 생산수를 전단부와 후단부로 나누어서 얻음으로서 수질 조절 또는 element간의 플럭스를 조절하는 방식으로 그 목적성을 달리하여 여러 특허들이 출원되고 있으며, 이외의 기술의 경우 성능이 다른 Membrane의 조합을 통해 목적성을 획득

하는 ISD관련 기술과 모듈단위의 CCD개념이 모듈 단위화가 이루어진 디자인의 경우 등이 있음. 이들의 대표 도면은 그림 42에 나타내었음.

○ 신재생에너지 활용 해수담수화 기술 특허 분석

- 최근 신재생에너지와 해수담수화 융합 기술에 대한 것은 그림 43에서 볼 수 있듯이 매년 3-9 건의 비교적 적은 수가 출원 및 등록되고 있음
- 이러한 경향은 아직까지 신재생에너지를 해수담수화 기술에 적용하였을 경우 경제성이 부족하여 산업화가 되지 않았기 때문으로 분석됨

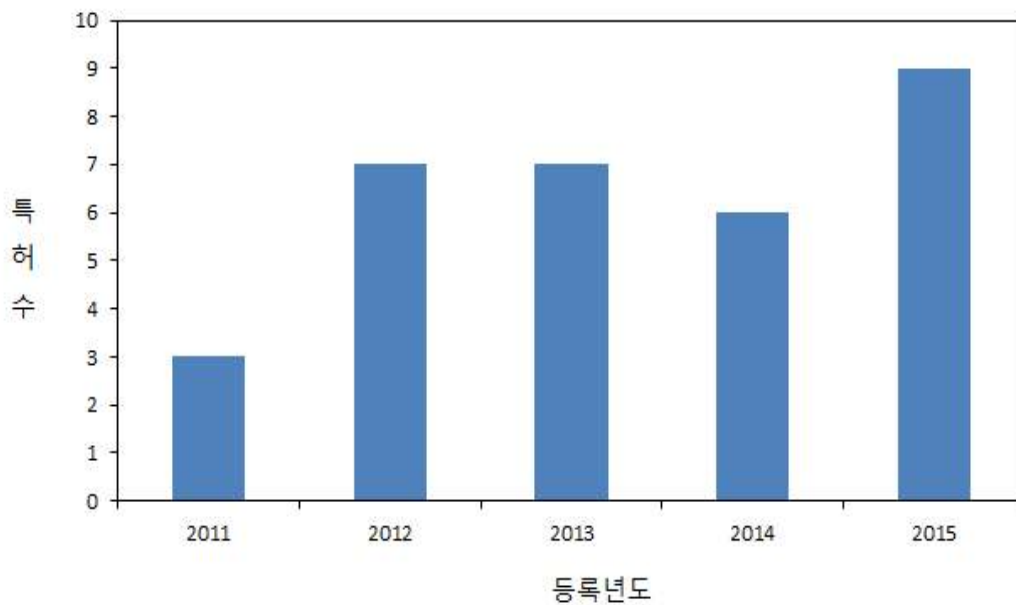


그림 43. 신재생에너지 해수담수화 특허 기술 분야

- 그림 44는 1980년 이전부터 축적된 신재생에너지 융합 담수공정 특허 변화를 보여주는 것으로 대부분이 태양열-증발식임을 알 수 있으며, 역삼투공정과의 결합은 2000년 이후에 증가하고 있음을 알 수 있음.

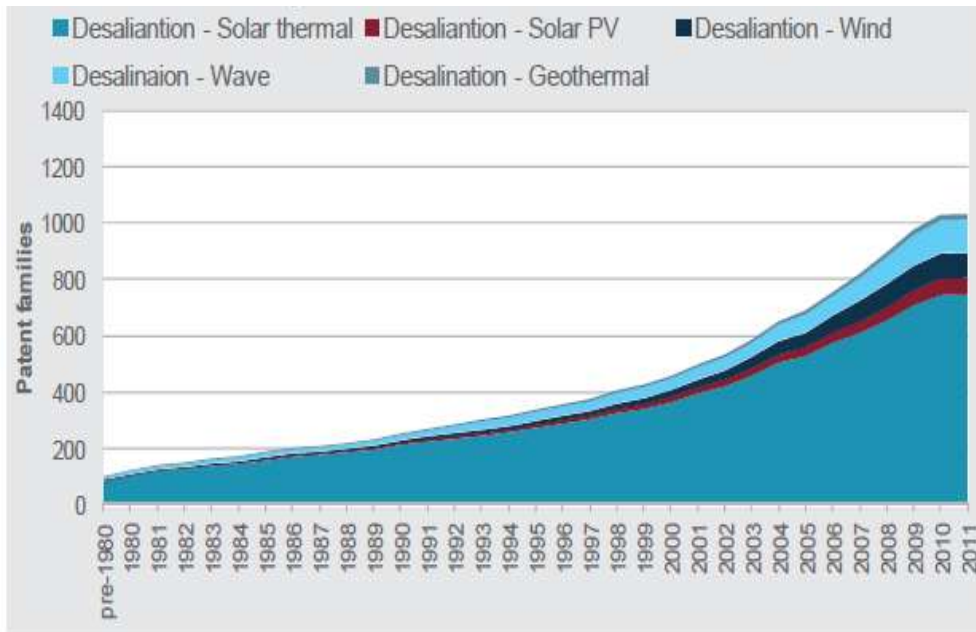


그림 44. 신재생에너지 복합 담수공정 특허 경향
 (Desalination Technologies and the Use of Alternative Energies for Desalination, Patent Landscape Report, IRENA Patent Landscape Reports Project)

2. 관련 기술 동향 분석

기술 동향

- 역삼투공정은 에너지 저감을 KEYWORD로 기술 개발
 - EPC는 기술적 차이가 크지 않음 : 저가 수주우려
 - 역삼투막 투과성능개선 및 에너지 회수장치가 에너지 저감을 획기적으로 이끌었음
- 다양한 신재생에너지와 관련한 해수담수화 기술이 개발되었으나, 실질적으로 시장을 선도하기에는 아직까지 경제성이 크게 부족

가. 해수담수화 시장은 에너지 저감을 Keyword로 기술 개발 중

- 해수담수화 시장에서의 중심은 에너지 저감
 - EPC의 경우 설계 표준화로 인하여 큰 기술적 차이가 발생하지 않아 저가수주의 우려

- 2002년 이후 EPC 및 부품소재간의 성능 차이가 없어 현재 시장은 생산수 단가 면에서
 평준화

○ 에너지 소비율은 2000년 이후 대부분 3-5 kWh/m³ 내에 존재

- 세계 최고 수준은 3.0 kWh/m³ 내외 (Tempa Bay Plant, USA) (Desalination Market 2010, GWI)
- 입찰시 운영에너지가 낮게 제시되는 기업이 수주하는 경향이 높음

※ Al Khaimah 프로젝트 입찰시 1위 업체와 6위업체가 순위가 에너지 소비율에 의해 뒤바뀜

○ 역삼투 방식에서 에너지 저감은 1900년대 들어 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타내었으며,
 이러한 감소는 일반적으로 기존 부품소재의 업그레이드 및 새로운 부품소재 개발로 인한
 것임. 그림 45는 이러한 경향성을 잘 보여 주고 있음.

- 각 년대별 요소기술의 개발이 이러한 변화를 더욱 가속화 시켰으며, 가장 두드러진 에너지 저감은 역삼투막 투과율 증대와 에너지 회수장치에 의한 것임

○ 역삼투식 해수담수화 플랜트의 에너지 효율성은 표 15에 나타난 것처럼 자연적인 환경을
 제외하면 트레인의 효율성에 의존함. 그러나 이러한 트레인의 효율성은 현재까지는 부품소
 재 등의 기술적 한계치에 도달함에 따라 일반적인 방식의 트레인 설계만 가지고는 효율성
 면에서 개선효과를 기대하기는 힘든 상황

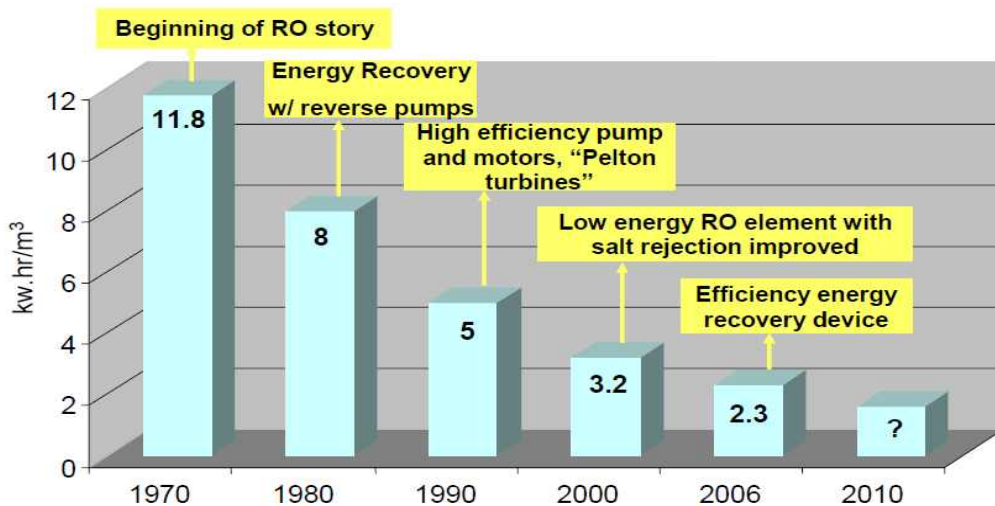


그림 45. 역삼투 방식의 에너지 저하에 대한 변화

(Carlos Campos, The Economics of Desalination for Various Uses, www.rac.es/ficheros/doc/00731.pdf)

표 15. 역삼투식 해수담수화 플랜트에서 요소기술 별 에너지 효율성 증가 방법

요소 기술	에너지 효율성을 위한 방법	에너지 효율성의 포텐셜
플랜트 크기	규모의 경제성	20-50 %
유입수의 염도	염도를 낮추기 위한 블랜딩	1.5-5 배
유입수의 온도	높은 온도가 유리	5-15%
역삼투막 효율성 및 파울링	더 높은 플럭스	5-10%
고압펌프의 효율	높은 효율	3-10%
에너지 회수	Isobaric 타입	5-15%

나. 해수담수화 시장에서의 경쟁력 강화를 위한 에너지 저감 기술개발은 필수적

○ 현재 상황에서 에너지 저감을 위한 기술개발의 방향은 크게 4가지로 요약

- (신공정 개발) 정삼투 공정으로 요약될 수 있는 신공정에 대한 개발은 미래 시장을 대비하여 연구되고 있으며 (FOHC연구단, G-MVP 연구단), 단 시간 내에 메이저 해수담수 시장에 적용되기는 어려울 것으로 사료
- (부품소재 개발) PA계열의 역삼투막 코팅기술은 현재 적용되는 막에 대한 투과성능을 직접적으로 개량하는 방향으로 진행되며, 미래를 위해 그래핀, CNT, 아쿠아포린, 나노소재 등이 연구되고 있음
- (설계 및 O&M 기술 개발) 현재의 역삼투막 공정에 대한 설계와 O&M 기술의 효율화를 위해 연구 (SeaHERO2 연구단)가 진행되며, 이는 현재 시장에서 가장 요구되고 있는 기술임. 그러나 실제 O&M에 대한 기술도 선진국의 기업에서 선점한 상황이 변수로 작용할 것으로 예상
- (신재생에너지 융합 해수담수화 기술 개발) 유럽을 중심으로 기술개발에 박차를 가하고 있으며, 현재 중동지역에서 태양에너지를 활용할 수 있는 방안에 대해 관심이 집중되고 있음

○ 에너지 저감은 현재 수준의 4.0 kWh/m³ 수준을 시장에서 요구되는 3.5 kWh/m³ 수준으로 낮추기 위해서 신재생에너지 활용전략이 필요

- 세계 최고 수준의 에너지저감을 위해서는 두 가지의 전략적 방향이 필요
- (공정 자체의 에너지 저감) 고프럭스 막 등을 적용하여 에너지를 낮출 수 있는 적극적인

전략으로 그림 46은 이러한 가능성을 보여주고 있음

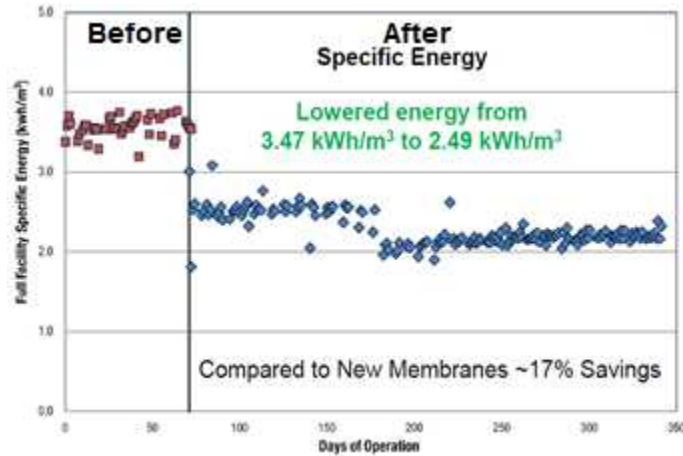


그림 46. 고프럭스 막 적용에 따른 에너지 저감

(CaribDA 2012 Conference & Exposition "Energy Savings and Salt Rejection Improvements using Seawater Nanocomposite Membranes in Caribbean Waters" NanoH2O)

- (신재생에너지 등의 에너지 소스 개발) 화석에너지가 아닌 새로운 에너지 원을 활용하여
간접적인 에너지 저감 전략 수립

○ 신재생 에너지 활용 연구는 유럽을 중심으로 개발되고 있으며, 그림 47에 나타난 바와 같이
태양에너지를 중심으로 해수담수화 공정과의 융합과 관련하여 연구 중임

- 신재생에너지 생산단가가 지속적으로 감소하고 있는 상황에서 라자드사는 미국내 대규모
태양에너지 및 풍력을 이용하는 발전 생산단가가 천연가스 발전수준으로 감소하였음을
2014년 발표

- 이러한 신재생에너지를 활용한 발전기술의 발전속도는 근시일내에 해수담수화 공정과 신
재생에너지의 융합공정의 경쟁력 확보 가능성을 간접적인 시사

Technology	Current Cost (US cents/kWh)		Projected future costs beyond 2020 (US cents/kWh)	
	Min	Max	Min	Max
Biomass Energy				
Electricity	5	15	4	10
Heat	1	5	1	5
Wind electricity				
Onshore	3	5	2	3
Offshore	6	10	2	5
Solar thermal electricity				
Insulation of 2,500 kWh/m ² /year	12	18	4	10
Hydro-Electricity				
Large scale	2	8	2	8
Small scale	4	10	3	10
Geothermal energy				
Electricity	2	10	1	8
Heat	0.5	5	0.5	5
Marine energy				
Tidal barrage (e.g. the proposed seven barrage)	12	12	12	12
Tidal stream	8	15	8	15
Wave	8	20	5	7
Grid connected photovoltaics, according to incident solar energy (insolation)				
1,000 kWh/m ² /year (e.g. UK)	50	80	8	8
1,500 kWh/m ² /year (e.g. Southern Europe)	30	50	5	5
2,500 kWh/m ² /year (most developing countries)	20	40	4	4
Stand alone photovoltaics				
2,500 kWh/m ² /year (incl. batteries)	40	60	10	10
Nuclear Power				
Average grid supply	4	6	3	5
Electricity grid supplies fossil fuels (incl. T&D)				
Off-peak	2	3 *		
Peak	15	25		
Average	8	10		
Rural electrification	25	80		
Cost of central grid supplies, excl. transmission and distribution				
Natural gas	2	4 *		
Coal	3	5		

그림 47. 2020년까지의 신재생에너지 저하 예측
(Frederick, J., MEM MASTERS PROJECT 2010)

다. 신재생에너지를 활용한 해수담수화 플랜트 기술 동향

- 담수화 공정에 대한 신재생에너지의 조합은 에너지 저하 및 Green House Gas effect 저감을 위해 최근 관심이 집중
- 에너지를 저감할 수 있다는 장점과 아울러 높은 투자비용이 요구되는 단점을 가지고 있음
 - 다양한 source 가 있으나, 실제 지역적 특색에 국한되어 적용될 수 밖에 없는 한계점이 존재
- 지열, 태양에너지, 풍력 등과의 융합 해수담수화 공정이 지속적으로 개발되고 있음
 - 태양에너지, 풍력 등이 가장 활발하게 접목되고 있으며, 특성별로 각각의 해수담수화 공정과 결합이 가능
 - 적용방법은 전력생산을 통한 적용과 열을 이용하는 방법등으로 구분

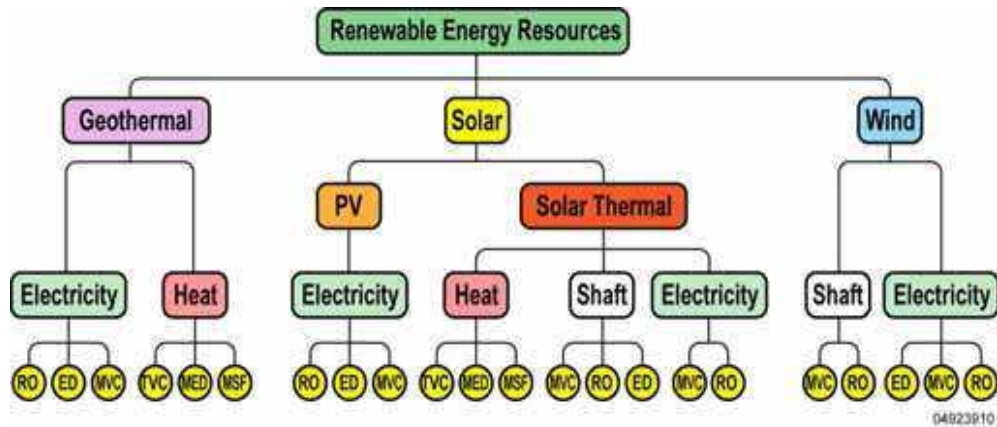


그림 48. 신재생에너지 소스별 적용가능한 해수담수화 공정 기술
 (Ali A. Al-Karaghoul and L.L. Kazmerski, *Renewable Energy Opportunities in Water Desalination*,
 www.interchopen.com)

○ 태양에너지 이용 해수담수화 공정

- 태양광 (Photo-Voltaic) 및 태양열 (Solar thermal) 이용 기술로 크게 구분
- 태양열 이용 해수담수화 공정은 태양열을 직접 이용하는 솔라스틸 (Solarstill)과 열 혹은 전기를 발생시켜 기존 해수담수공정의 에너지원으로 사용하는 간접적 방식으로 구분
- 태양광을 이용하는 방식은 전력을 생산하여 해수담수화공정에 이용하는 기술로 역삼투 공정 등과 조합
- 대부분 규모가 작은 파일럿 규모 수준에 있으며, 경제적인 면이 약점으로 아직까지 현장적용에는 문제가 있음

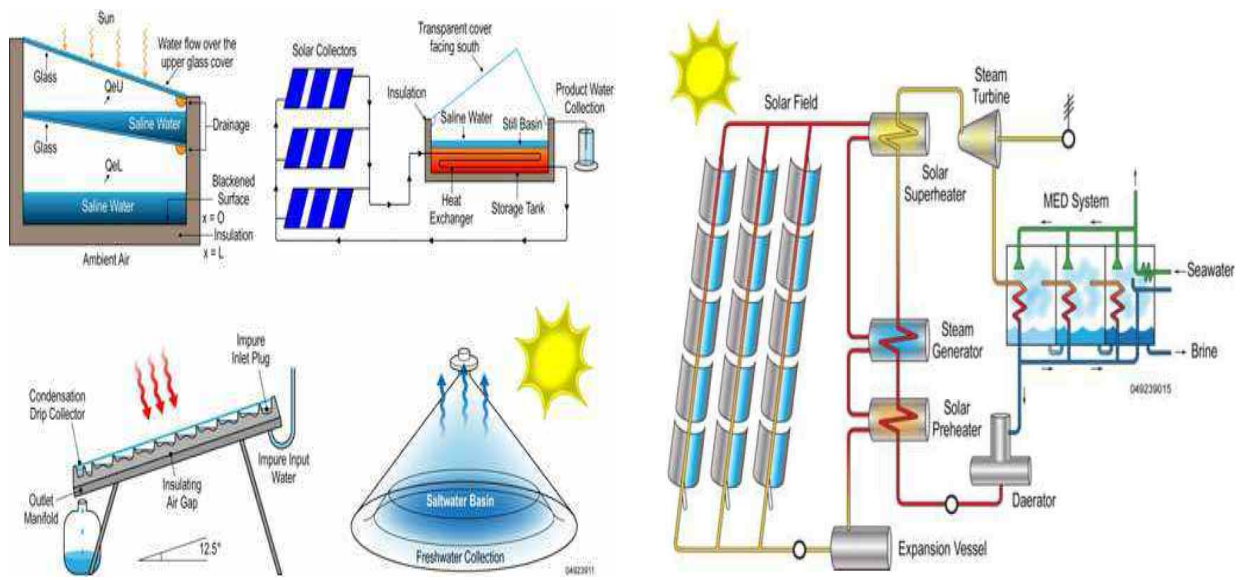


그림 49. 솔라스틸과 태양열 발전시스템을 이용한 MED
 (Ali A. Al-Karaghoulhi and L.L. Kazmerski, *Renewable Energy Opportunities in Water Desalintion*,
 www.interchopen.com)

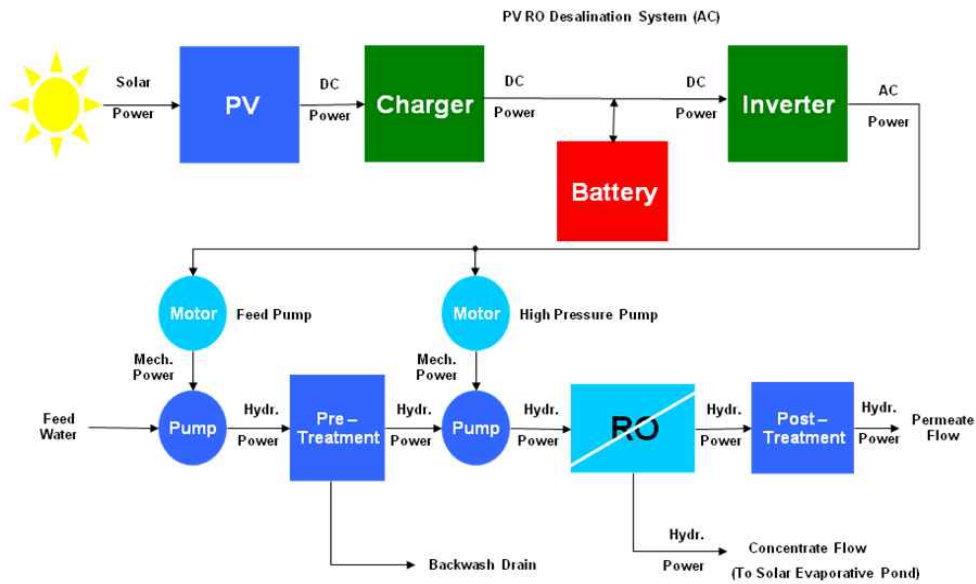


그림 50. 태양광 시스템을 이용한 역삼투방식 해수담수화 시스템 개략도
 (www.nerc.gov.jo/Photovoltaic)

표 16. 태양에너지를 이용한 대표적인 담수화 공정

플랜트 위치	설치년도	원수	용량 (L/hr)	에너지원
Pozo Izquierdo, Gran Canaria, SODESA project	2000	해수	25	태양열
Sultanate of Oman, MEDRC project	2002	해수	42	태양열
AQUASOL project	2002	해수	3,000	태양열
CREST, UK	2003	해수	0.5	태양광
Jedda Saudi Arabia	1981	해수	3.2 m ³ /d	태양광

○ 풍력에너지 이용 해수담수화 공정

- 현재까지 풍력은 특성상 역삼투방식 및 ED 방식 해수담수화와 조합을 이루는 것으로 조사됨

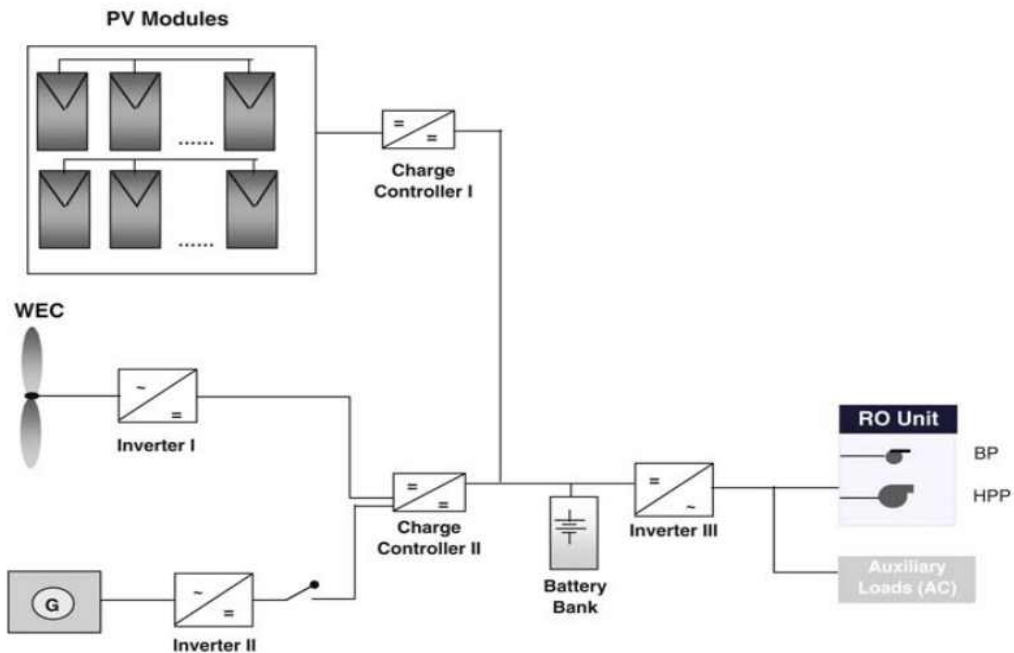


그림 51. 풍력에너지를 이용한 역삼투방식 해수담수화 시스템 개략도

(Tzen. E., *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes*, Springer, 2011)

표 17. 풍력에너지를 이용한 대표적인 담수화 공정

플랜트 위치	설치년도	원수	용량 (L/hr)	에너지원
Ile de Planier, France	1983	해수/담수	500	풍력
Fuerteventura island PUNTA JANDA project	1995	해수	2,333	풍력
Therasia island, Greece	1997	해수	200	풍력
Pozo Izquierdo, Gran Canaria, AEROGEDESA	2003	해수	800	풍력
CREST, UK	2004	해수	500	풍력

○ 지열을 이용한 해수담수화 공정

- 지열은 풍력이나 태양에너지에 비해 아직까지 미비하나, 대부분 증발식 공정과 조합을 이루어 적용되고 있음

○ 현재까지 역삼투공정과 태양광의 조합이 가장 많으며, 역삼투 공정과 풍력, 태양열과 다중효용법 순으로 조합을 구성하여 적용 중

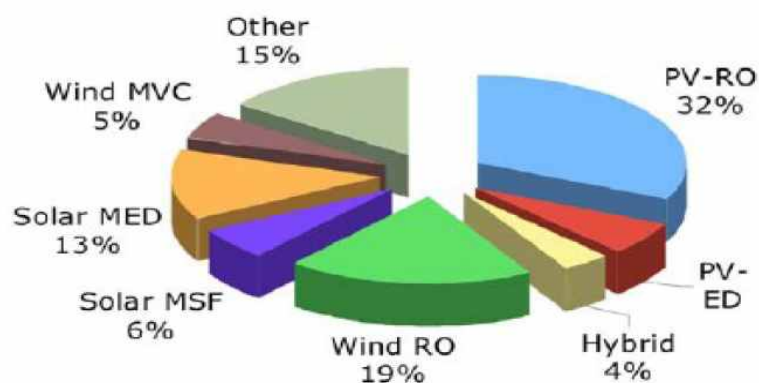


그림 52. 신재생에너지와 해수담수화 공정의 조합

(Mohsen M.S., "Potential for Wind-Powered Desalination Systems in Jordan", Int. of Thermal & Environmental Engineering, Vol. 1, No. 2, PP109-123, 2010.)

- 현재까지 개발된 기술에 의한 경제성은 비교될 수 없으나, 가장 가능성이 높은 것은 태양열을 이용한 MED공정으로 경우에 따라 일반적인 MED에 유사한 비용으로 생산이 가능한 것으로 알려짐

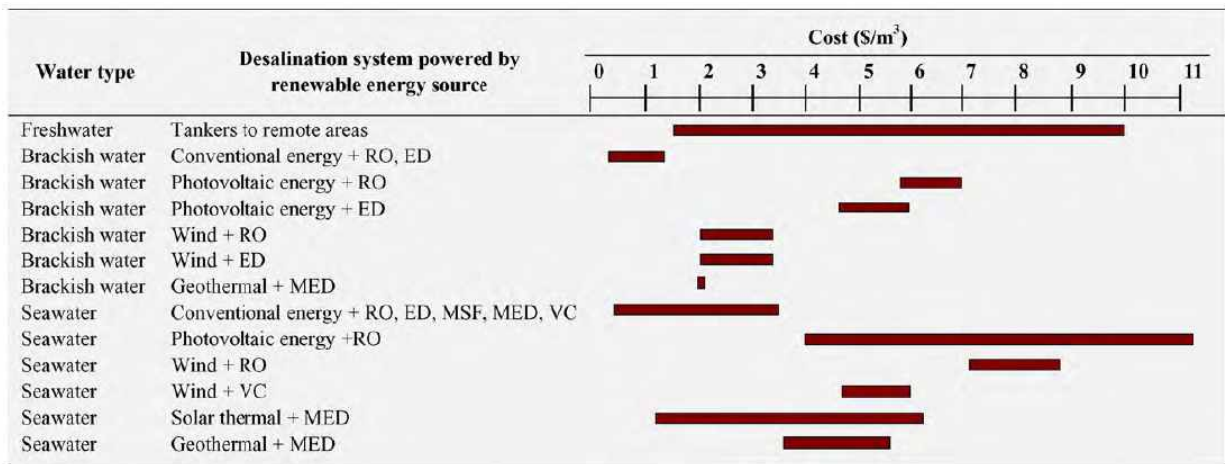


그림 53. 신재생에너지와 해수담수

(Gude, V.G.et al., :Renewable and Sustainable Approaches for Desalination, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, PP2641-2654, 2010.)화 공정의 생산수 단가 추정

4절 국내외 연구개발 인프라 분석

1. 국내외 최고 기술보유 업체/(연구)기관 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	국적	비고
대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 시공 기술	두산중공업	<ul style="list-style-type: none"> • 국내유일의 자체프로세스 및 EPC / Turnkey 능력 보유업체 • 신기술인 하이브리드식 대형해수담수화 플랜트를 세계 최초로 중동 UAE 후자이라에 건설함 • 현재 Shuaibah RO 플랜트 건설완료, Shuwaikh RO, Jeddah RO 플랜트 건설 중임 	한국	
	Veolia	<ul style="list-style-type: none"> • 수처리 기술 (RO 공정 설계 등) 	다국적	

	Fista	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	이탈리아	
	GE	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	다국적	
	Suez	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	다국적	
해수담수화 기술(증발법)	현 대 (현대건설, 현대중공업)	• 주로 MSF 방식의 건설부분 수행 • EPC/Turnkey 수행 경험 미보유	한국	
해수담수화 기술(RO)	동 안 엔지니어링	• RO 방식을 주로 사용하여 염수 및 지하수를 이용한 산업용 정수 및 초순수설비임	한국	
해수담수화 멤브레인 제조	웅진케미칼	• 세계 4번째 16인치 역삼투막 개발 • 정삼투막 8 인치 프로토타입연구	한국	

○ Veolia Environment(프랑스)

- 베올리아는 1853년에 설립된 프랑스 파리에 본사를 둔 세계 1위의 물 기업으로 2012년 약 294억유로(2011년 286억)의 매출을 올린 다국적 기업임.
- 베올리아의 물 관련 사업 담당계열사인 Veolia Water는 VWO(Veolia Water Operations), VWS(Veolia Water Solutions & Technologies), SAED로 세분되어 있으며, 이들을 통해 지하수, 지표수, 기수, 해수, 하폐수와 정제된 슬러지까지 정화가 가능한 물리, 화학, 생물학적 기술을 보유하고 있음.
- 현재 베올리아는 아시아 태평양 지역에서 호주와 중국시장에 활발히 진출하고 있으며, 상하수도 설비와 서비스 외에도 담수화플랜트와 물 재생플랜트 건설 등을 담당하고 있음.
- 1890년 첫 담수화플랜트 건설을 시작으로 담수화플랜트 시장에서 영향력을 넓혀왔고 현재 세계 담수화 플랜트 시장에서 1위를 차지하고 있음.
 - 지역 인력 채용과 본사 기술력 활용을 통한 최적 O&M 제공 정책 추진
 - GAMA라는 자체 개발 앱 활용 및 에너지 소비 절감을 위한 전주기적 평가 적용 등

○ Suez Environment(프랑스)

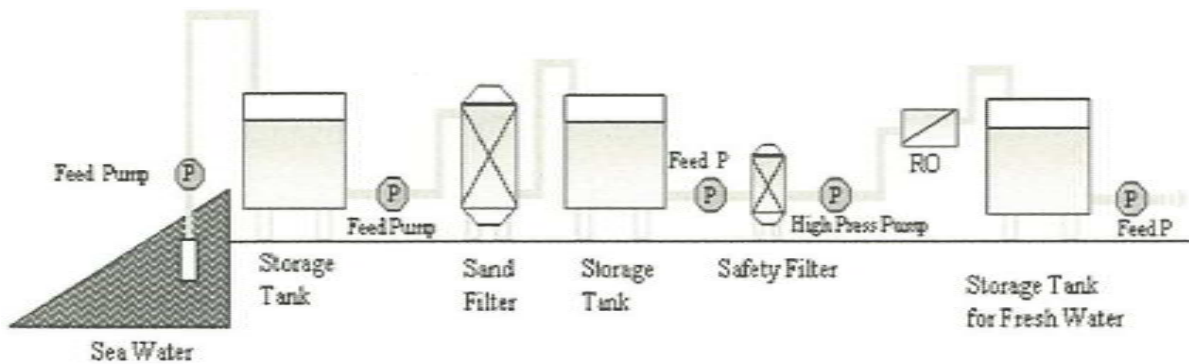
- 수에즈 환경은 2012년 151억 유로로 전년대비 1.8% 증가하였으며, 물 관련 사업 부문이 이중 50%를 상회하는 것으로 나타남.
- 수에즈 환경은 담수화플랜트와 물 재이용 시장에서의 사업영역을 넓히고 있음. 수에즈는 2006년 스페인의 20만m³/일 용량의 역삼투압 공정 담수화플랜트를 수주함으로써, 역삼투

압 공정 담수화플랜트 사업에서 아랍에미리트의 푸자이라, 호주의 퍼트, 스페인의 엘 알타발 등을 포함한 시장에서의 레퍼런스를 강화하였음.

- 2008년에는 스페인의 대표적인 물기업인 Agbar를 인수하는 등 시장을 넓히고 있음.
- 본사 전문가 중심으로 현지에서 의사결정 및 최적화 지원 정책 추진과 Data 활용을 통한 Simulator 개발로 화학세정(CIP)주기 최적화 등 O&M 기술 최적화

○ Wellthy(일본)

- 해수담수화 System 개발로 드레인 압력을 재사용하는 에너지 절약 시스템으로 종래 모델에 비해 60%의 전력소모를 감소시켰으며, RO막에 비화학 투약방식을 채용하여, 5년 이상의 막 수명연장을 실현하며 운전 비용을 감소하였음. 또한 단위중심의 디자인에서 전체 패키지를 제작하여 설치하여 운송비용을 절감하였음.



자료 : <http://www.wellthy.co.jp/english/product/seawater.html>

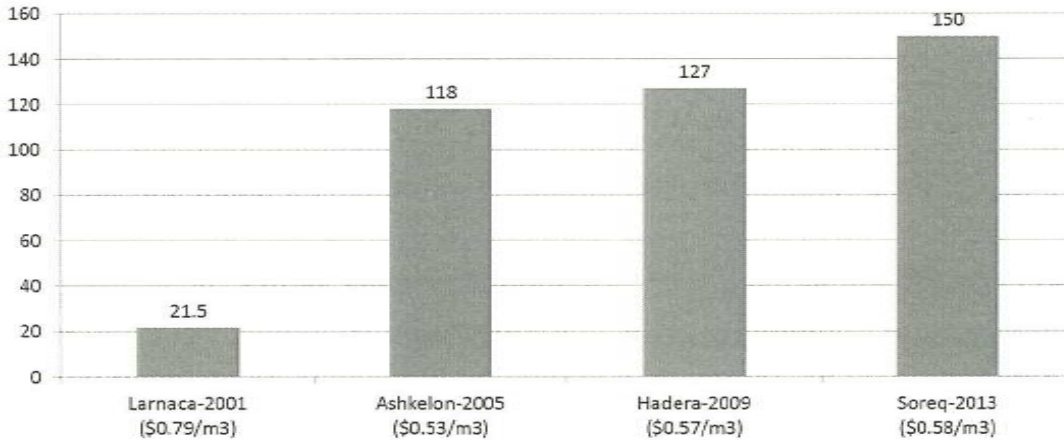
그림 54. 일본에서 만든 해수담수화 에너지 절약 시스템

○ IDE Technologies(이스라엘)

- 해마다 유럽과 세계 각국에서 이민해오는 유대인들로 인한 기하급수적 인구증가에 비해 수자원은 매우 한정되어 있어 가뭄 때마다 별다른 대책이 없었으며, 이에 일찍부터 담수화를 중심으로 물 관련 기술 개발에 몰두해 왔음. 이에 50년 이상의 기술개발 역사를 바탕으로 현재 세계 최고 수준의 담수화 기술을 자랑하게 되었으며 IDE Technologies와 같은 담수화 기술 선도기업을 보유하게 되었음.
- IDE는 세계적인 역삼투압방식(RO)의 담수화 기술보유업체로 이스라엘 북서부 Hadera 및 남서부 Ashkelon에 대규모의 역삼투압 방식의 담수화 시설을 건설하고 운영하고 있음.

프로젝트명	Sorek Project - 세계에서 가장 크고 진보된 SWRO 담수화 Plant	
용량	624,000 m ³ /day (26,000 m ³ /hour)	
프로젝트 타입	Build-Operate-Transfer (BOT)	
공간	100,000 m ² (10 ha)	
기술	Reverse Osmosis (RO)	
위치	Sorek, Israel	
Commission	2013	
프로젝트명	Carlsbad Project - 서반구에서 가장 큰 해수 담수화 플랜트	
용량	54m gallons (204,412 m ³) per day	
프로젝트 타입	Engineering, Procurement and Support Services + Operation and Maintenance (O&M)	
공간	~5.5 acres	
기술	Seawater Reverse Osmosis (SWRO)	
위치	Encina Power Station, Carlsbad, California	
Commission	2015	
프로젝트명	Tianjin SDIC Project - 중국의 가장 큰 담수화플랜트	
용량	200,000 m ³ /day	
프로젝트 타입	Engineering-Procurement-Construction (EPC)	
공간	125m x 160m	
기술	Multi-Effect Distillation (MED)	
위치	Hangu, Tianjin, China	
Commission	2010, 2013	
프로젝트명	Reliance Jamnagar Project - 인도의 가장 큰 담수화플랜트	
용량	160,000 m ³ /dayindia	
프로젝트 타입	Engineering-Procurement-Construction (EPC)	
공간	4 UNITS: 45m x 200m, 4 units: 60m x 120m, 1 unit: 45m x 45m	
기술	Multi-Effect Distillation (MED)	
위치	Jamnagar, Gujarat, India	
Commission	1998, 2005 & 2008	
프로젝트명	Cape Preston Project - The First Pre-Assembled Large-Scale Desalination Plant	
용량	140,000 m ³ /day	
프로젝트 타입	Engineering, Procurement and Construction Support Services	
공간	54,000 m ² (300m x 180m)	
기술	Reverse Osmosis (RO)	
위치	Cape Preston, WA, Australia	
Commission		
프로젝트명	Essar Project - 인도의 대형 담수화 플랜트	
용량	~65,000 m ³ /dayOLYMPUS DIGITAL CAMERA	
프로젝트 타입	Engineering-Procurement-Construction (EPC)	
공간	2 units: 37.5m x 65m, 2 units: 50m x150m	
기술	Multi-Effect Distillation (MED)	
위치	Jamnagar, Gujarat, India	
Commission	2006, 2012	
프로젝트명	Ashkelon Project	
용량	392,000 m ³ /day	
프로젝트 타입	Build-Operate-Transfer (BOT)	
공간	70,000 m ² (350m x 200m)	
기술	Reverse Osmosis	
위치	Ashkelon, Israel	
Commission	2005	
프로젝트명	Sarlux Project - 세계에서 가장 큰 MVC 담수화플랜트	
용량	17,280 m ³ /day	
프로젝트 타입	Engineering, Procurement, Construction (EPC)	
공간	35m x 70m	
기술	Mechanical Vapor Compression (MVC)	
위치	Sardinia, Italy	
Commission	1999	

그림 55. IDE의 주요 프로젝트 현황



자료 : IDE

그림 56. IDE 담수화 능력 추이(단위 : 100만m³/년)

○ Agbar(스페인)

- Agbar는 128개의 지사와 10,500명의 종업원을 보유하고 있는 스페인의 대표적인 글로벌 수처리 기업으로 1867년 바로셀로나에서 지역 내 식수 공급사업을 시작으로 물산업에 진출하였음.
- 스페인 식수공급의 50%와 수처리의 30%를 담당하는 최대 기업으로 성장하였는데 수처리 시설만 해도 현재 스페인을 포함해 전 세계에 775개(음용수처리설비 300개, 폐수처리 설비 475개)를 보유하고 있음.
- 바로셀로나의 200만 거주자에게 식수서비스를 공급하고 있는 Aigues de Barcelona는 바로셀로나 대도시에 해수담수화 플랜트를 건설 중이며, The Sant Joan Despi Plant에서는 정밀여과와 역삼투압을 수처리에 적용하여 식수공급을 위한 수준으로 수처리를 향상시키고 있음.

○ Abengoa(스페인)

- 자국 내 실적을 토대로 전세계 담수화 플랜트 분야에서 12번째 큰 공급자로서 성장하였으며, 가격 경쟁력을 바탕으로 최근 해수담수화 수주시장에서 급부상하고 있음.

○ WABAG(오스트리아)

- WABAG사는 1924년 설립된 세계 10대 수처리 기업으로 해수의 담수화, 폐수처리, 슬러지 처리설비의 개발과 설치를 전문으로 하고 있음. 80년 이상의 오랜 경험을 바탕으로 지금까지 전 세계 6천개 이상의 관련 프로젝트를 진행해 왔음.
- 2014년 1월 리비아 전력청(GECOL)이 발주한 토부록, 트리폴리 및 데르나 지역 발전소용

담수화플랜트(계약금액 12백만 유로) 계약자로 Wabag가 선정되었음. 이번 시공사로 선정된 Wabag는 해수담수화 플랜트(2기) 및 Electro chlorination plants(2기)를 건설하여 기존 토부록, 트리폴리 및 데르나 지역발전소로 용수를 공급하게 됨.

- 또한, Nemmell 담수화 플랜트를 수주하여 인도 Chennai 지역 주민에게 먹는 물을 공급하기 위한 2번째 SWRO 담수화 플랜트가 2013년 시운전을 시작하였음.
- 오만 OPWP의 알구브라 민자 담수공장 프로젝트 입찰에서 일본 스미토모, 말레이시아 말라코프, 스페인 까다구와로 구성된 컨소시엄이 지난 2012년 11월 3.78억불에 수주하였음. 이 프로젝트는 RO 방식 담수공장을 무스카트의 알구브라 지역에 민자로 건설하는 20년 BOO사업으로 Wabag는 까다구아, 현지의 칼파르와 공동으로 EPC업무를 수행하였음.

○ Statkraft(노르웨이)

- 2009년 11월 노르웨이에 최초의 파일럿 규모의 PRO발전 플랜트를 건설하였으며, 건설당시 상용화된 비대칭 Cellulose-acetate membranes를 이용하여 $1W/m^2$ 의 전력밀도를 얻었음.
- 2011년 PRO 발전 플랜트를 개보수하여, 동일 막 면적에서 $3W/m^2$ 의 전력밀도를 얻을 수 있는 것으로 보고하였으며, PRO 발전기술이 경제적으로 성공할 수 있는 기준으로 설정된 $5W/m^2$ 의 목표전력밀도에 미치지 못하였고, 2013년에 PRO발전 연구를 중단하였음.

○ ItN Nanovation(독일)

- ItN Nanovation AG는 독일 나노기술 수처리 기업으로 독일의 Saarbruecken에서 2000년 창립한 이래 산업용 필터 시스템을 전문적으로 생산하고 있으며 65명의 종업원을 가진 작은 규모의 회사이지만 혁신적인 세라믹필터 제품 개발로 큰 주목을 받고 있음.
- ItN은 친환경적인 혁신시스템인 세라믹 평판막(CFM : Ceramic Flat Membranes) 개발에 성공하였으며, 높은 정화속도로 총 $33m^3$ 규모의 3개의 나노필터모듈의 일일 정화량은 $8m^3$ 에 이룸. 이러한 CFM 필터는 특히 RO(역삼투압) 공정전의 지하수를 처리하는데도 사용되어 기존의 멤브레인 필터에 비해 효과가 탁월해 음용수의 생산량을 20% 증가시킬 수 있는 장점이 있음.

○ Hyflux(싱가포르)

- 2012년 실적발표에 따르면 6억 8238만 싱가포르달러의 수입과 610만 싱가포르 달러의 순익을 나타냈는데 2011년 4억 8197만 싱가포르 달러의 수입과 530만 싱가포르 달러의 순익에 비해 각각 41%, 15% 증가한 것으로 나타남.

- 하이플릭스는 다양한 막여과 제품을 제작하고 있는데 대표적인 제품으로는 크리스탈 폴리머 중공섬유막여과가 있으며, 이는 세계에서 7개 뿐인 NSF 승인마크를 획득한 제품 중에 하나임.
- NSF 승인마크 : 미국 위생재단(National Sanitation Foundation)이 위생용품에 부여하는 안전, 품질 인증

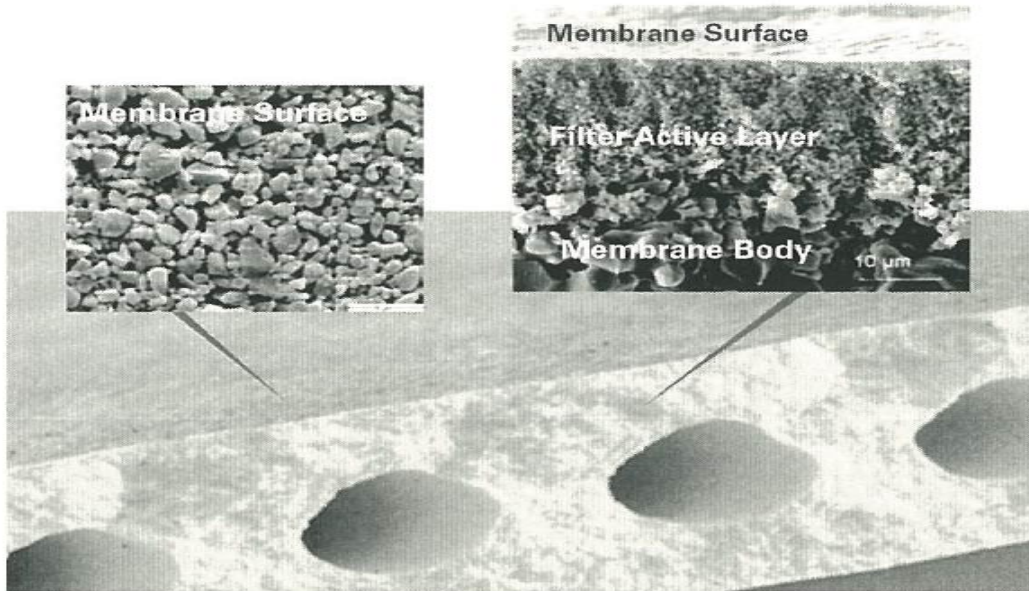


그림 57. ItN Nanovation AG의 세라믹 평판막

- 싱가포르 최초이자 최대의 해수담수화 플랜트인 SingSpring 담수화 플랜트를 20년간의 운영조건으로 수주하였으며, RO 기술을 채택하였음. 1일 처리용량은 싱가포르 1일 물 필요량의 10%에 가까운 136,380m³에 달함. 이어 2004년에는 중국 Tianjin Dagang 지방정부로부터 30년간 Dagang 지역에 산업용수를 공급하는 담수화 플랜트를 수주하였음.
- Tianjin Dagang 담수화 플랜트는 일일 처리용량이 10만m³로 중국 최대의 막여과기반 해수담수화 플랜트임. 2008년 4월에는 알제리 Magtaa에 세계 최대의 역삼투 해수담수화 플랜트를 구축하는 프로젝트를 수주하였음.

○ Filmtec

- Filmtec은 가장 안정성 있는 제품의 RO 분리막을 생산하고 있는 업체 중 하나로 전세계 RO막 시장에서의 점유율이 41% 정도에 이를 정도로 높고 기술수준 역시 높음.
- FRM(Fouling resistance membrane)을 생산하고 있는데 표면이 매끄러운hydrophilic 재질이고 실험을 통해 fouling 저감 효과가 있음이 밝혀졌음.

- 반면 아직까지 보론 제거를 특성화한 제품을 선보이지 않고 있고 단지 기존해수담수화용 RO 제품의 보론 제거능이 88~91% 수준이라는 것만을 명시하고 있음.

○ Toray

- Toray는 다른 선진 제조업체 비해 시장점유율이 크지는 않지만 분리막 제조에 있어 높은 기술경쟁력을 갖고 있음.
- 전통적으로 염 제거율이 높은 막을 제조해 왔고 현재 염 제거율도 99.8%로 세계에서 가장 높은 수준을 보이고 있으며 보론 제거율에 있어서도 91~93%로 타사 대비 경쟁력이 있는 것으로 발표되고 있음.
- 특히 최근 신규로 개발한 보론 제거율만을 특성화 시킨 제품은 유량 측면에 있어서는 타사 대비 20% 내외로 부족하지만 보론 제거율은 관련 업계 최고수준인 94~95%의 높은 효율을 보이고 있고, 이 제품을 이용해 해수담수화시스템 가동을 실시하여 운전 효율을 계산한 결과, 기존보다 20% 이상의 비용적 감소 효과를 나타내었다고 함.

	SingSpring 담수화 플랜트 거래처 PUB, the national water agency 지역 Singapore Tuas 용량 136,380 m3/day 준공 2005
	TUASPRING 담수화 플랜트 거래처 PUB, the national water agency 지역 Singapore 용량 318,500 m3/day 준공 2013
	TIANJIN DAGANG 담수화 플랜트 거래처 People' s Government of Tianjin City 지역 China 준공 2009 용량 100,000 m3/day, 증설 150,000 m3/day
	MAGTAA 담수화 플랜트 거래처 Algeria Energy Company 지역 Algeria 용량 500,000 m3/day 준공 2013
	SOUK TLETA 담수화 플랜트 거래처 Algeria Energy Company 지역 Algeria 용량 200,000 m3/day 준공 2011

자료 : 하이플렉스 기업 브로슈어 2013

그림 58. 하이플렉스사의 담수화 플랜트

○ Dow Chemical

- 해수담수화용 역삼투 복합막을 개발하여 상업화 하였으며, 안정성 있는 제품의 역삼투 분리막을 생산하고 있는 업체로서 시장 점유율이 약 40%에 달하는 전 세계 최대 규모

의 멤브레인 공급회사임.

○ Hydranautics

- 역삼투막, 한외여과막 및 정밀여과막 등 분리막 제조 기업으로서 해수보다는 기수용 역삼투막과 PRO(Pressure Retarded Osmosis) 분리막에 집중하고 있음.

○ 두산중공업(주)

- 해수담수화 분야에서 세계 3위 기업인 두산중공업은 바닷물을 이용해 현재 하루 전 세계 2200만 명이 마실 물을 생산해 내고 있음. 두산중공업은 지난 1978년 사우디아라비아 파라잔 프로젝트를 시작으로 중동 시장에서 해수담수화 사업에 본격 뛰어들었으며, 1980~1990년대 사우디아라비아, 아랍에미리트 연합(UAE) 등에서 잇달아 프로젝트를 수행하면서 미국과 유럽, 일본 등의 일부 업체가 독점해 오던 담수 설비의 설계 기술을 자체 개발하는데 성공하였음.
- 현재 사우디아라비아, UAE, 쿠웨이트, 오만, 카타르 등 중동 전역에 걸쳐 27개 프로젝트를 진행해 담수 생산 용량은 640만톤 규모에 달함. 두산중공업은 현재 해수담수화 기술 가운데 다단증발방식(MSF), 다단효용방식(MED), 역삼투압(RO)의 3가지 방법 모두 기술과 실적을 보유한 회사임.
- 두산중공업은 이 같은 해수담수화 경쟁력을 바탕으로 수처리 사업에 진출하는 등 앞으로 계속해서 물 사업을 확대할 계획이며, 경남 창원, 미국텍사스, UAE 두바이에 각각 연구개발(R&D)센터를 건립, 다양한 물 관련 연구를 수행하고 있음.
- 사업단 과제에 주도적으로 참여하여 설계/시공기술 측면에서는 세계수준이나, O&M 분야에 대한 경험이 적어 선진국과 3~5년 내외의 기술격차가 발생하였음.

○ GS건설(주)

- 스페인 물 전문기업 INIMA사를 인수하여 기술 교류 및 협업체계를 구축함으로써 SWRO 프로젝트 수주 및 Concession 사업 참여를 추진하고 있음.
- GS INIMA는 GS건설이 100% 지분을 가진 자회사로 역삼투압 방식(RO) 담수플랜트 방식의 기술을 가진 세계 10위권의 업체임. 1957년 설립해 세계 최초로 담수 플랜트 시공을 한 후 전 세계 200개 이상의 수처리 플랜트 시공 실적을 보유하고 있음. 2012년 알제리에서 세계 최대 규모인 하루 20만톤의 바닷물을 RO담수화 할 수 있는 시설을 준공하였으며, 유럽 최대 규모인 하루 384톤의 슬러지 건조 플랜트 시공 및 운영기술을 가지고 있음.
- 담수플랜트 분야 세계적인 기술력을 보유하고 있는 이니마를 통해 신성장 동력 확보는

물론, 해외시장 확대라는 시너지로 중동과 아시아에 편중된 수주시장을 미주, 유럽, 아프리카 등으로 넓혀 해외 수주시장의 다변화를 추진하고 있음.

- GS건설은 국토교통과학기술진흥원으로부터 70억원의 연구과제비를 지원받아 차세대 해수담수화 기술의 하나로 주목받고 있는 SWRO/PRO 복합해수담수화 기술개발을 수행 중에 있으며, 해수담수화 에너지 소모량을 25% 줄이는 신개념 해수담수화 공정기술을 개발 중임.

○ 현대건설(주)

- 현대건설은 세계 최초로 ‘카본 나노튜브 역삼투막 방식(CNT RO)’를 활용한 해수 담수화 기술개발을 진행하고 있으며, 한국수자원 공사, 도레이케미칼과 공동으로 CNT RO를 활용한 해수 담수화 공정 설계 패키지 기술연구를 추진하고 있음.
- CNT RO기술은 나노 물질(초미세 물질)인 카본 나노튜브(CNT)를 역삼투막에 코팅해 막을 통과하는 물의 속도를 높여 담수 생산량을 증가시키는 기술로 기존 역삼투막 기술과 비교해 물 투과량을 30%이상 향상시킬 것으로 예상됨.
- 한국수자원공사와 공동으로 시화호 인근 부지에 하루 200m³ 규모의 저에너지를 생산하는 CNT RO기반 해수담수화 실증플랜트 시설 설치를 진행 중에 있으며, 2016년 3월까지 국내 운전을 성공적으로 마무리한 후 물 부족에 시달리고 있는 중동과 북아프리카 지역을 대상으로 사업화할 계획임.

○ 포스코건설(주)

- Posco STAR 브랜드 기술자립화를 위한 설계기술과 운영기술을 지속적으로 확보하는 시스템을 구축하고 있음. 브랜드 기술을 위해 2012년부터 파일럿 연구를 하고 있으며, 광양 3만m³/일 사업부지 옆에 파일럿 실증을 위해서 기본 설계 인자를 도출하기 위한 100m³/일의 담수시설이 운영되고 있음.
- 광양 3만m³/일 규모의 해수담수화 사업은 기본적으로 먹는 물보다 한번 더 처리한 개념의 고품질 산업용수를 생산하는 것임. 사업비는 550억원 정도가 투입되었으며 사업구도는 PF사업임. SPC 특수목적 법인을 설립하고 EPC와 운영관리 30년을 맡고 있음.
- 국토교통부가 추진하는 스마트워터그리드(Smart Water Grid) 연구를 통해 포스코건설은 2013년 7월에 발전소에서 나오는 온배수를 재이용하는 해수담수화시설 건설을 진행하였음. 온배수는 발전소에서 발생하는 폐열을 흡수하는 냉각수로 활용된 뒤, 다시 바다로 배출되는 바닷물임.
- 온배수 문제를 해결하기 위한 해수담수화 시설은 해외에선 이미 상용화되어 있지만 국내에서는 포스코건설이 2013년 1월부터 짓고 있는 전남 광양 동호안 현장이 최초임. 이

시설은 광양제철소내 발전소에서 배출되는 온배수를 담수화하여 공업용수로 다시 제철소로 공급하게 됨.

- 중형 플랜트 설계 및 시공기술을 소유하고 있으며, 이외 중소/중견 기업의 도서지역 소규모 플랜트 시공 경험을 소유하고 있음.

○ 대우건설(주)

- 대우건설은 자체적으로 저에너지 정삼투 해수담수화 기술 실용화(2011.01 ~ 2013.12) 연구 과제를 수행하여 정삼투 기반 역삼투 공정 농축수 처리 요소기술 정량화 및 산업재산권 등을 확보하고, 10m³/일 규모의 정삼투 파일럿 플랜트 설계/시공/운전을 통하여 100 m³/일 이상의 설계/시공기술을 확보하였음. 또한, 기존 역삼투 공정 강화를 위한 나노막 공정접목을 통해 경제성 향상 공법을 도출하여 해수담수 시장진입을 위한 정삼투 기반 농축수처리 통합형 저에너지 역삼투 해수담수화 공법을 확보하였음.

○ 시노팩스

- 물 분석 원천기술과 함께 핵심 소재 및 모듈, 시스템 패키지 기술까지 보유한 수처리 솔루션 전문기업으로 분리막 필터는 각종 오폐수 정수는 물론, 물 재이용, 해수담수화 등 다양한 용도로 사용할 수 있음. 미세한 구멍이 있는 막에 물을 통과시켜 이물질은 거르는 시스템으로 어느 환경에서도 사용할 수 있으며, 특히 해수담수화 부문에서는 다량의 물을 끓이기 위해 대규모 플랜트가 필요했던 증발식과 비교해 공간효율이 월등해 각광 받고 있음.
- 시노팩스 포항사업장은 마이크로급에서 나노급까지 다양한 종류의 분리막 필터를 하루 3,000여개 생산하고 있음.

○ 에코니티(ECONITY)

- HDPE를 이용한 침지형 하폐수 처리용 막, PVDF를 이용한 가압형 정수용막 등을 개발하여 수처리장에 공급, 설치, 운영하고 있으며, 에코니티 기술연구소는 2013년 8월 국토해양부로부터 “MD전용 고투과성 분리막 및 모듈개발”을 주제로 약 5년 동안 진행되는 과제를 수주하였음. 국토교통과학기술진흥원으로부터 30억원의 과제비를 지원받아 수행하는 것으로 차세대 해수담수화 기술의 하나로 주목받고 있는 MD(Membrane Distillation)에 대한 분리막의 개발과 분리막을 산업화 할 수 있는 모듈의 개발에 초점을 맞추고 있음.

○ 도레이 케미칼

- 도레이 케미칼(구, 웅진케미칼)은 미국과 일본에 이어 지난 1994년 국내 최초로 역삼투 필터를 개발, 국내 1위의 수처리용 역삼투필터 사업을 하고 있음. 한편 도레이첨단소재는 2013년 11월 웅진 케미칼 지분 인수를 위한 본 계약을 체결, 일본 도레이의 선진기술을 들여와 수처리 사업 분야를 더 강화할 계획임.
- 분리막 기술은 막을 통해 정제하는 기술로 역삼투압 방식을 사용하는 RO(Reverse Osmosis)와 미세 기공으로 오염물질을 걸러내는 마이크로필터(MF), 울트라 필터(UF), 나노필터(NF) 등으로 나눌 수 있음. 이에 도레이 케미칼은 RO와 MF 등의 필터생산 기술을 보유하고 있으며, 최근에는 UF필터개발에 성공하여 생산, 판매를 진행 중임.
- 산업용 RO 시장은 환경오염, 용수비 증가로 인한 폐수 재활용 분야와 반도체 및 광학업종 증설로 인한 초순수 분야의 두드러진 성장이 전망되며 국내외 해외담수화 프로젝트 진행이 가시화되면서 수요가 확대되고 있음.

○ 웰크론한텍

- 고밀도 섬유제조 기업인 웰크론은 가정이나 산업현장에서 쓰는 극세사 클리너와 집먼지진드기를 막아주는 극세사 침구류를 주력으로 성장한 전통적인 섬유기업임. 그러나 일반 섬유로는 경쟁력을 확보하기 어려워지면서 2005년 극세사 섬유 제조기술에 나노기술을 접목, 나노섬유 분야에 뛰어들었음.
- 이후 웰크론은 멜트블로운 공법으로 나노섬유 울파필터 소재개발을 성공하였으며, 2011년에는 국내 최초로 고성능 첨단 필터 PTSE 중공사 멤브레인 필터 개발에 성공하여 국내 대표 나누 필터 생산 기업으로 자리잡았음.
- 현재 국내에는 도서지역인 추자도 해수담수 설비에 적용되어 담수설비에 대한 매출액은 2011년, 2012년 각각 157백만원, 3,747백만원을 올렸음.

2. 국내 전문가 현황

세부기술	전문가	소속기관	기술개발현황	국적	비고
Membrane 제조	홍성표	도레이케미칼/팀장	Membrane 제조	한국	
수처리	김충환	수자원공사/수석연구원	수처리	한국	

수처리	김수한	부경대학교/교수	수처리	한국	
플랜트 설계	조임현	두산중공업/상무	플랜트 설계	한국	
Membrane 제조	신용철	코오롱/부장	Membrane 제조	한국	
Pump 제조	임우섭	효성굿스프링스/사장	Pump 제조	한국	
RO 엔지니어링	황문현	광주과기원/책임연구원	RO 엔지니어링	한국	
플랜트 설계	우성우	두산중공업/부장	플랜트 설계	한국	
막 제조	전재홍	코레드/과장	막 제조	한국	
막 제조	장문석	에코니티/대표이사	막 제조	한국	
MD 기술	김승현	경남대학교/교수	RO 기술	한국	
RO-FO 플랜트	김인수	광주과기원/교수	RO 플랜트전반	한국	
막여과/MBR/Biofouling	이정학	서울대학교/교수	막여과/MBR/Biofouling	한국	
막여과/MBR/Biofouling	최창규	광주과기원/선임연구원	MF/UF/MBR/막오염	한국	
정수처리/막여과	최승일	고려대학교/교수	정수처리/막여과	한국	
정수처리	이석현	한국과학기술/책임연구원	정수처리	한국	
수처리/막여과	서규태	창원대학교/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/소독	손진식	국민대학교/교수	수처리/소독	한국	

플랜트 기술	조정식	KICT/수석연구원	플랜트 기술	한국	
수처리/막여과	홍승관	고려대학교/부교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과	김형수	성균관대/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과	김한승	명지대학교/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과	독고석	단국대학교/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과/나노소재	이상호	국민대학교/교수	수처리/막여과	한국	
소독	신기하	(주) 유니테크/사장	전해질 소독	한국	
RO 공정	최준석	한국건설기술연구원/ 수석연구원	RO공정	한국	
막여과/광촉매	추광호	경북대학교/교수	막여과/광촉매	한국	
NOM/막여과/ 습지	조재원	UNIST/교수	NOM/막여과/습지	한국	
공정모델링	김준하	GIST/교수	공정모델링	한국	

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 기술개발을 위한 전략

1. 해수담수화 기술개발 추세

기술개발 추세

- 에너지 저감을 키워드로 개발
 - 역삼투방식으로 기술의 패러다임 완전 전환
 - 신공정에 대한 기술 개발 경쟁
 - 신재생에너지 해수담수화 기술은 아직까지 경제성 확보가 미흡

○ 세계 해수담수화 기술개발 방향은 2가지로 구분될 수 있음

- (재래식 해수담수화 기술) 증발식에서 역삼투방식으로 기술의 패러다임의 완전한 전환
 - 기술전환의 Keyword는 에너지 저감이었음
 - 증발식 해수담수화 기술은 특성상 해수를 수증기로 변화시키기 위한 열에너지를 필요로 하므로 SWRO에 비하여 에너지 소요량이 많을 수 밖에 없음 (표 18)
 - 이에 그림 59에 나타난 바와 같이 증발식 플랜트 건설이 2000년 이후로 현저하게 감소하였음을 알 수 있음

표 18. 증발식과 SWRO의 에너지 량 비교

(Voutchkov, N, 2013, Desalination engineering planning and design, McGrow-Hill, 참고)

Energy Type	MED	MSF	SWRO
Steam pressure, ata	0.2-0.4	2.5-3.5	Not needed
Electric energy equivalent, kWh/m ³	4.5-6.0	9.5-11.0	Not needed
Electricity consumption, kWh/m ³	1.2-1.8	3.2-4.0	2.5-4.0
Total energy use, kWh/m ³	5.7-7.8	12.7-15	2.5-4.0

Water production costs, US\$ per cubic meter	0.7-5.3	0.9-4.0	0.5-3.0
--	---------	---------	---------

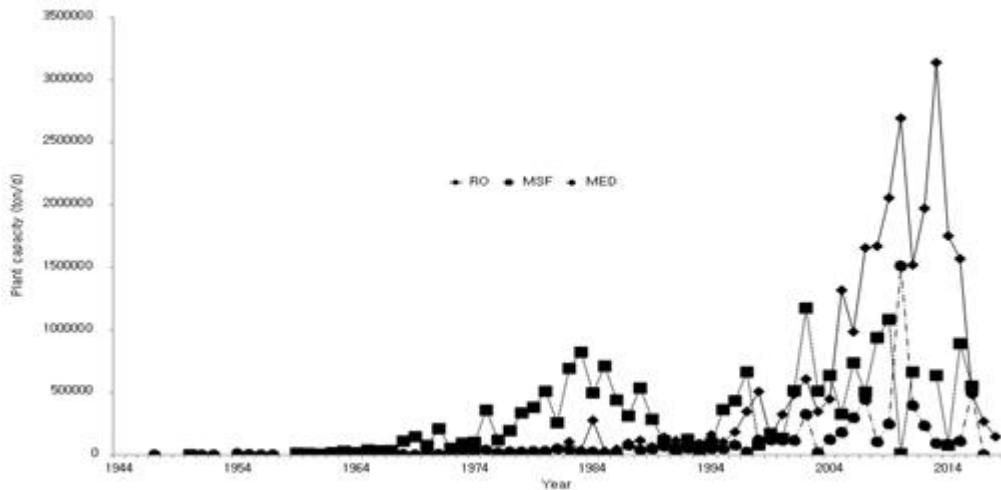


그림 59. 해수담수화 기술별 플랜트 용량

- (새로운 신공정 개발) 역삼투방식 해수담수화 기술의 평준화에 따른 향후 미래 시장을 대비하기 위한 새로운 공정 기술에 대하여 원천기술 확보
- 정삼투 기술 : 역삼투막을 대체할 것으로 가장 기대되는 공정중 하나로, 이론적으로 외부의 에너지를 최소화한 상태에서 고농도의 유도용액을 주입함으로써 삼투압 차이에 의해 염분을 제거하는 기술
- Modern Water사는 오만지역내에 2011년 100 m³/d 정삼투공정을 4.9 kWh/m³의 에너지 소모율로 운영함으로써 비교 대상으로 운영한 역삼투공정의 에너지 소모율 8.5 kWh/m³에 비해 효율적이었다고 주장
- 막증발 방식 : 증발식과 막방식의 하이브리드 기술로 실제 에너지 면에서는 역삼투공정을 대체할 수 없으나, 신재생에너지와 결합할 경우 가능성이 있는 것으로 분석되며, 실질적으로는 농축수의 처리 혹은 유가자원의 회수 공정으로 활용되는 경향이 있음
- 막증발법의 에너지 소모율을 저감하기 위해서 신재생에너지를 활용하는 방안은 꾸준히 연구가 지속되어 왔으며, 향후 가장 상업화에 근접한 형태가 될 것으로 사료되며, 태양열과 폐열을 적용하는 방안에 대하여 꾸준히 연구되고 있음
- 싱가포르에서 진행된 MEMSTILL공정 운영결과를 토대로 분석한 결과는 폐열을 이용할 경우 경제성 확보가 가능한 것으로 발표



그림 60. Modern Water사의 FO 플랜트 전경

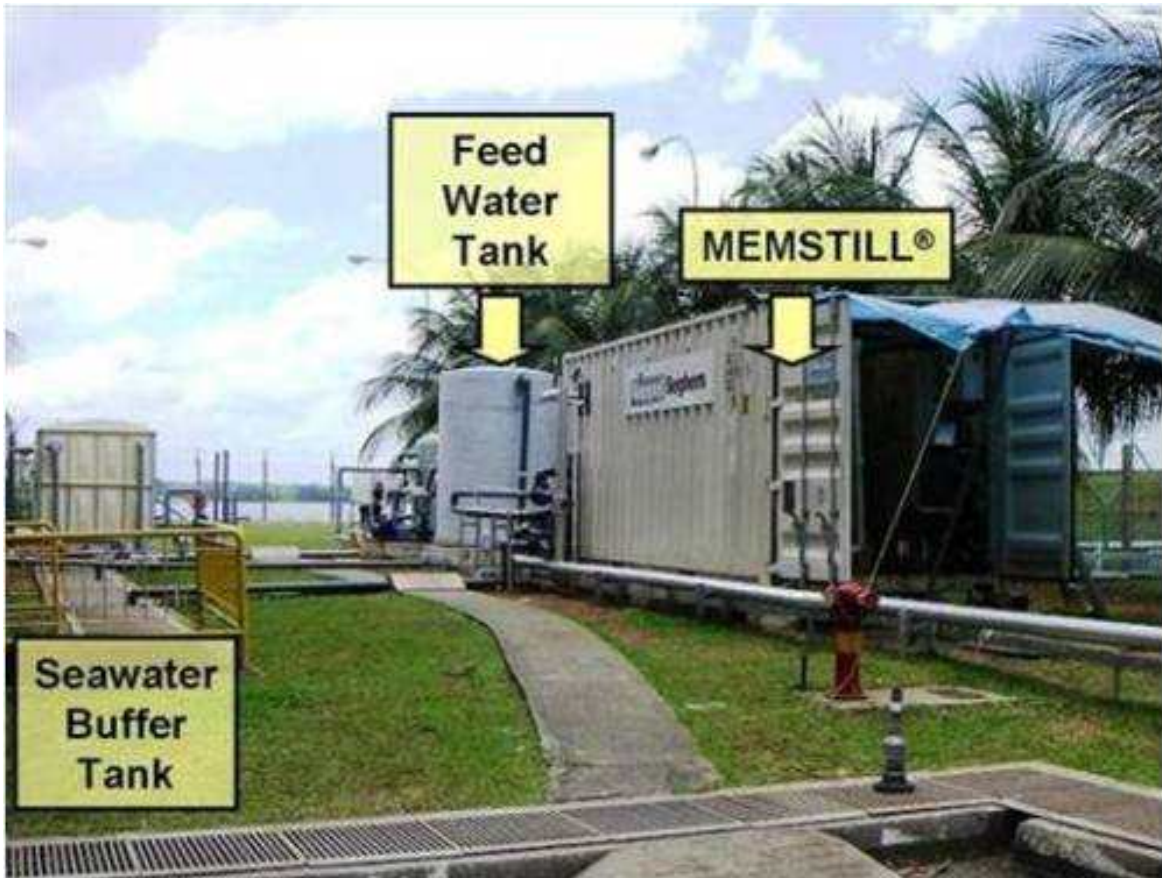


그림 61. Memstill 막증발법 플랜트의 전경

- 증발법이 주류를 이루던 과거와는 달리 2000년대 이후로 해수담수화플랜트 시장은 역삼투법으로 급변하였으며, 증발법이 5kWh/m³ 이상의 에너지 사용량(Specific Energy Consumption, SEC)에 대한 단점을 극복하지 못하기 때문에 이에 대한 대안으로 역삼투 기술이 제안됨
- 역삼투 해수담수화는 전처리, 역삼투 공정, 후처리 등으로 구분되며, 역삼투막, 펌프, 에너지회수장치(Energy Recovery Rate, ERD) 등에 대한 관련 기술 개발로 에너지 사용량 50% 저감 및 운영비용 25% 저감을 달성하였음
- 최근 역삼투 기반 해수담수화 기술 개발은 에너지 소비를 줄이는 방향으로 개발되고 있으며, 고프레스 막, 고효율 펌프, 고성능의 에너지 회수장치 개발을 통해 에너지 사용량을 저감하고, 역삼투 막의 운전 성능을 높이기 위한 신개념의 전처리 공정 개발과 막 오염 물질 제어 등에 많은 연구개발이 이루어지고 있음
- 현재 역삼투 방식에 의한 해수담수화플랜트의 에너지 사용량에 대한 한계는 최대 3 kWh/m³으로 예측되고 있으며, 이 수준 이하로 줄이기 위해서 역삼투 방식이 아닌 카본 나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT), 정삼투법(Forward Osmosis, FO), 막증발법(Membrane Distillation, MD), 전기적 흡착 기술(Capacitive Deionization, CDI)와 같은 다른 방식의 신개념 탈염 기술들이 대두되고 있으나, 여전히 대규모 플랜트를 건설하는데는 기술적 한계가 있음

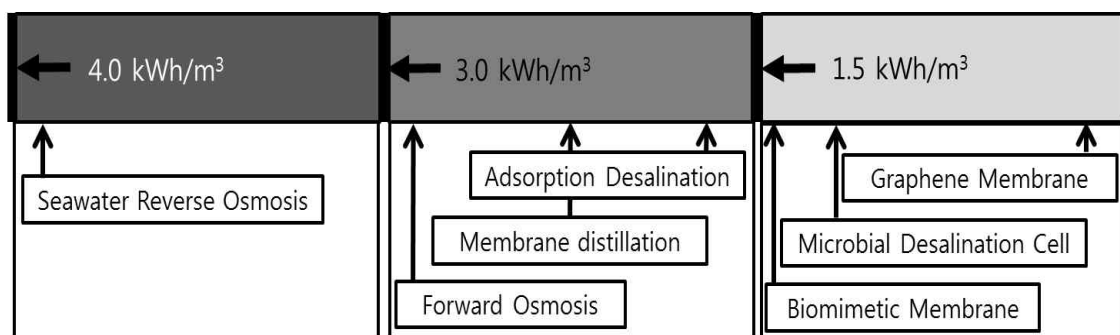


그림 62. 해수담수화 기술 에너지 사용량

- 이에 따라 현재 중동지역을 포함한 해수담수화플랜트 수요국들은 여전히 역삼투 방식의 해수담수화 기술에 대한 수요가 대부분이며, 태양광, 풍력, 조력 등 신재생에너지를 통

해 에너지를 다원화하여 해수담수화플랜트에 결합함으로써, 화석연료에 의한 에너지 사용량을 줄이는 방향으로 기술개발이 활발히 이루어지고 있음

○ 기술개발 현황에 따른 국내 기술 현황

- MSF를 중심으로 하는 증발식에서는 여전히 두산중공업이 자체 경쟁력을 가지고 있음 (2010년 라스아주르 227MIGD 수주(MSF 160MIGD + RO 67MIGD), 2011년 Yanbu 15 MIGD MED 수주 (단일트레이너로 세계최대))
- 역삼투막 해수담수화 분야에서 2006년 시작된 “해수담수화플랜트 사업단”의 성공적인 수행으로 주요 역삼투막 분야 요소기술 (고압펌프, 16inch 역삼투막, 대형 트레이너 설계 기술, 에너지 회수장치 등) 확보
- 역삼투막 해수담수화 공정에 대한 전 세계 EPC 업체간 기술력은 평준화에 도달한 것으로 사료되며, 증발식 분야와는 달리 고른 실적을 가지고 있음
- 신공정 개발 분야에서는 그림 63과 같이 1980년대 이후 크게 증가하고 있으며, 한국의 경우도 2015년 기준으로 정삼투 분야에 103편, 막증발법 분야에 96편으로 분야별 세계 순위에서 각각 5위, 12위권에 존재.
- 정삼투 및 막증발법 분야에서 본격적으로 연구가 시작된 시기는 각각 2011년과 2009년으로 선진국에 비해 많이 늦다고 할 수는 없는 것으로 분석됨. 따라서 한국의 이 분야에 대한 연구 경쟁력은 상대적으로 높은 것으로 사료.

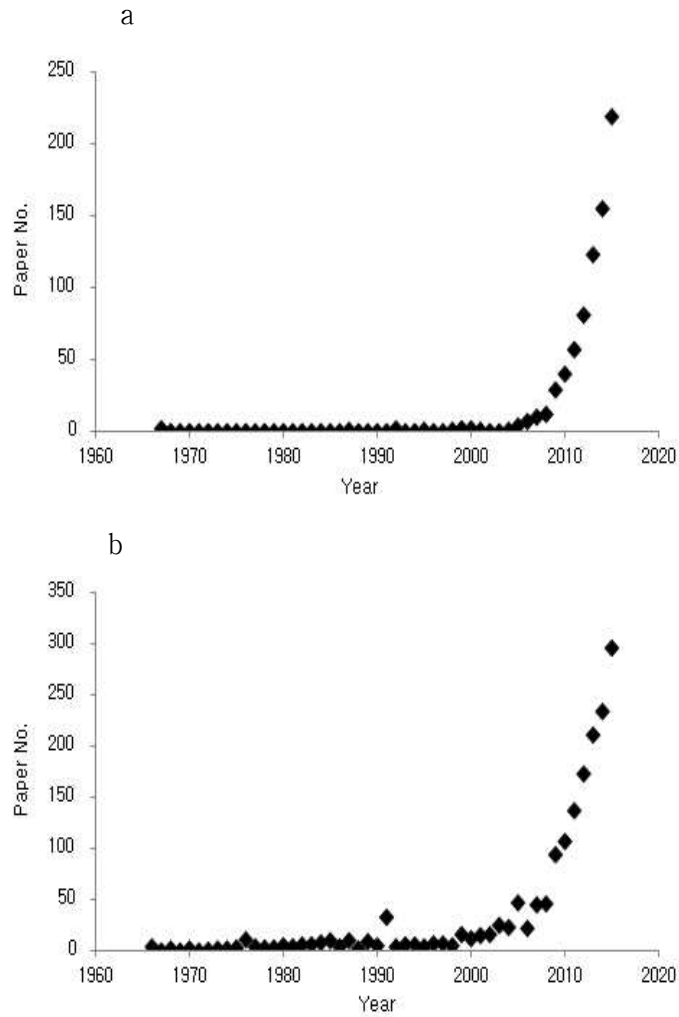


그림 63. 정삼투 공정 및 막증발 법 관련 연구의 경향 (a : 정삼투, b : 막증발)
(황과 김 2016, 대한환경공학회 계제예정)

○ 신재생에너지 해수담수화 공정

- 해수담수화 공정과 신재생에너지와의 결합은 화석에너지 사용절감과 탄소 저감 면에서 탁월할 전략이나 아직까지 신재생에너지 발전자체가 경제성이 없어 현재의 역삼투방식 해수담수화 공정에 비하여 경제적으로 비교가 될 수 없음
- 그래도 크게 2가지에 대하여 대형 플랜트가 계획되고 있음. 특히 태양에너지화 풍력을 활용하는 방안에 대하여 연구가 지속되고 있으며, 태양에너지는 중동지역을 중심으로 풍력은 호주를 중심으로 활발하게 적용성 test가 실시되고 있음

표 19. 태양에너지 활용 해수담수화 프로젝트 계획 (Desalination Market 2016, GWI 참고)

국가	플랜트	용량 (m ³ /d)	기술	태양 에너지	계획일	운영 예정일	건설사	상황
UAE	Ras Al Khaimah	100,000	SWRO	22MW solar IPP	-	-	-	Procurement phase. 두개업체가 비딩
사우디아라비아	Al Khafji	60,000	SWRO	15MW PV	2015	2017	아벤고아와 AWT사	Contract awarded
인도	Ramanathapuram (TIDCO)	15,000	Seawater desalination plant	50MW CSP와 바이오메스 보일러의 융합	-	-	-	F/S 테스트 중
카자흐스탄	Aktau CSP	10,000	MED	50MW CSP와 바이오메스 보일러의 융합	2015	-	임페리얼 에너지사	BOT agreement

- **(높은 투자비)** 태양에너지를 활용하기 위해서는 광대한 부지가 필요함. 일반적으로 PV를 활용하기 위해서는 1 m³/d의 생산수를 위해서 요구되는 solar 판넬은 10 m²가 요구되는 것으로 알려짐. 전반적으로 10,000 m³/d의 플랜트를 위해 100,000 m²의 solar 판넬이 필요함
- 또 하나의 경제성을 좌우하는 것은 위치적인 문제로 솔라판넬은 일반적으로 내륙지역에 건설되나, 해수담수화 시설은 해변가에 위치되므로 상호간의 거리에 따라 경제성이 크게 좌우됨
- **(낮은 유지관리비용)** 유지관리비용 면에서는 당연히 경제적이지만, 실제로 안정적인 에너지 공급을 위해서는 에너지 그리드 (Energy Grid)가 요구되므로 팔목할만큼 유지관리비가 저감되는 아닌 것으로 사료됨
- **(낮은 에너지 안정성)** 태양광 혹은 태양열은 모두 매일의 기후조건에 의존하기 때문에 안정성이 부족하므로 다른 에너지 소스가 반드시 요구됨.
- **(높은 생산수 단가)** 생산수 단가에서 건설비가 차지하는 비중이 높기 때문에 일반적인 해수담수화 플랜트의 생산수단가에 비하여 높을 수 밖에 없음

2. 해수담수화 시장의 기술 변화에 대한 대응전략

가. 국내 해수담수화 기술 수준에 대한 분석

기술 경쟁력

- 증발법에서는 세계 최고 수준의 기술경쟁력 확보
 - 시장 축소에 의한 수주물량은 지속적으로 감소할 것으로 예상되며, 아울러 수익성도 점차 악화 될 것으로 예측
- 대형 역삼투방식 해수담수화 시장에서의 기술경쟁력
 - 3.7 ~ 4.0 kWh/m³ 수준으로 평가됨 (세계 중위권으로 분석됨)

○ 증발식 해수담수화 플랜트에서의 기술 경쟁력분석

- MSF와 MED를 중심으로 하는 증발식의 수주를 지속적으로 발생하고 있으나, 현재 시장의 대부분이 역삼투방식으로 진행됨에 따라서 시장 규모 축소
- 2015년 이후 발주물량의 90% 이상이 역삼투방식 해수담수화 기술로 예측되고 있음
- 두산중공업으로 대변되며, MSF 만으로 한정할 경우 세계 최고 수준의 기술을 소유하고 있음
- 표 20은 세계 상위 용량의 10대 MSF 플랜트를 나타낸 것으로 세계 최대용량 뿐만 아니라 총 5개의 플랜트를 두산중공업이 건설하였음. 이는 두산중공업의 MSF 기술에 대한 경쟁력을 직접적으로 보여주는 것임
- MED 면에서는 소형플랜트 위주로 수주하였으며, 대형플랜트 수주는 상대적으로 없는 것으로 분석됨.
- 따라서 향후에도 증발식 경쟁력에 의해 시장을 선도할 것으로 예상되나, 해수담수화 기술별 발주동향에 나타나듯이 향후 증발식 관련 물량은 지속적으로 감소가 예측

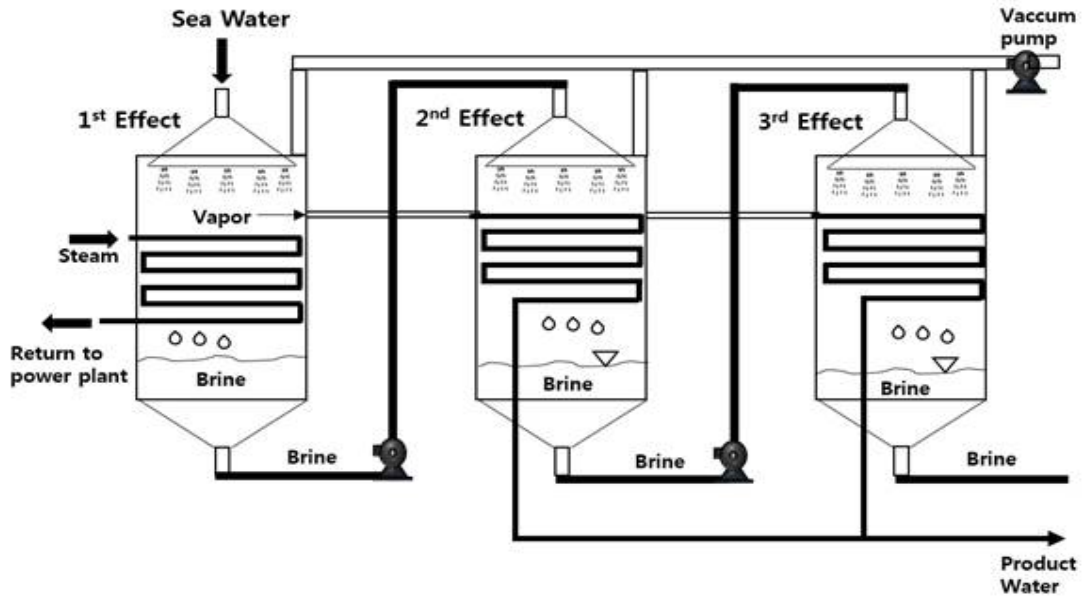


그림 64. MSF의 모식도

표 20. 세계 최대 용량의 MSF 플랜트

국 가	플랜트	용량 (m ³ /d)	수주일	건설사
사우디 아라비아	Shoaiba 3	880,000	2005	두산 중공업
사우디 아라비아	Ras Al-Khair (MSF)	728,000	2010	두산 중공업
UAE	Jebel Ali M Station	636,440	2007	피지아
사우디 아라비아	Yanbu 3	550,000	2012	두산 중공업
사우디 아라비아	Al Jubail (Phase 2)	472,794	1981	미츠비시
UAE	Shuweihat 2	459,146	2009	두산 중공업
UAE	Shuweihat 1	454,200	2001	피지아
사우디 아라비아	Shoaiba 2	454,000	1993	두산 중공업
쿠웨이트	Doha West	392,400	1981	미츠비시
UAE	Al Taweelah B1	340,950	1992	피지아

○ 역삼투방식 해수담수화 플랜트에서의 기술 경쟁력

- 국내 역삼투방식 해수담수화 플랜트는 1000 m³/d이하의 소규모 플랜트 위주로 도서지역을 중심으로 건설되었음.
- 세계 시장에서 소형플랜트 시장의 경우 수익성 면에서 지역 기업의 경쟁력이 높기 때문에 기대하기 어려운 점이 있음
- 국내 대형 역삼투방식 해수담수화 플랜트는 부산 기장에 설치된 45,000 m³/d 용량의 기장 해수담수화 플랜트와 광양제철소내에 설치된 30,000 m³/d 용량의 플랜트가 대표적임

○ 45,000 m³/d 용량의 기장 해수담수화 플랜트

- 생산수 기준 총 10 MIGD 규모의 역삼투공정 해수담수화 플랜트로 표면해수 (TDS 34,458mg/L기준) 약 10만m³/일을 사용하여 45,000m³/일의 먹는물 생산
- 그림 65는 기장 역삼투방식 해수담수화 플랜트에 대한 P&ID를 작성한 것으로 크게 2개의 계열로 구성되어 있음
 - (공통) 취수설비 - DABF 설비
 - (1계열) 에너지 최소화를 위하여 트레인을 구성 (DMF - 에너지 회수장치 (DWEER) - 8 MIGD급 트레인)
 - (2계열) UF를 설치하여 고도 전처리 비교를 위해 트레인 구성 (MF - 에너지 회수장치 (Turbocharger) - 2 MIGD급 트레인)
 - (공통) 2 nd pss 역삼투 설비 (5.2 MIGD) - Remin 설비 - 정수지
- 1단 역삼투공정 생산수기준 8 MIGD 1계열, 2 MIGD 1계열 등 2계열과 생산수의 보론처리를 위한 5.2 MIGD 1계열로 구성, 생산수 에너지소비량은 4 kWh/m³ 이하가 되도록 설계됨

표 21. 기장 역삼투방식 해수담수화 플랜트 설계 인자

인 자	운전 범위	설계
회수율 (%)	47.5 ~ 48.5	48.3
유입수 압력 (bar)	51 ~ 54.5	55.1 ~ 62.1 (10 ~ 25 °C)
RO 유입수 유량 (m ³ /hr)	825 ~ 836	834
1 st 생산수량 (m ³ /hr)	210 ~ 220	214
2 nd 생산수량 (m ³ /hr)	180 ~ 190	188
농축수량 (m ³ /hr)	430 ~ 436	432
설계 온도 (°C)	17.18 ~ 23.67	10 ~ 25

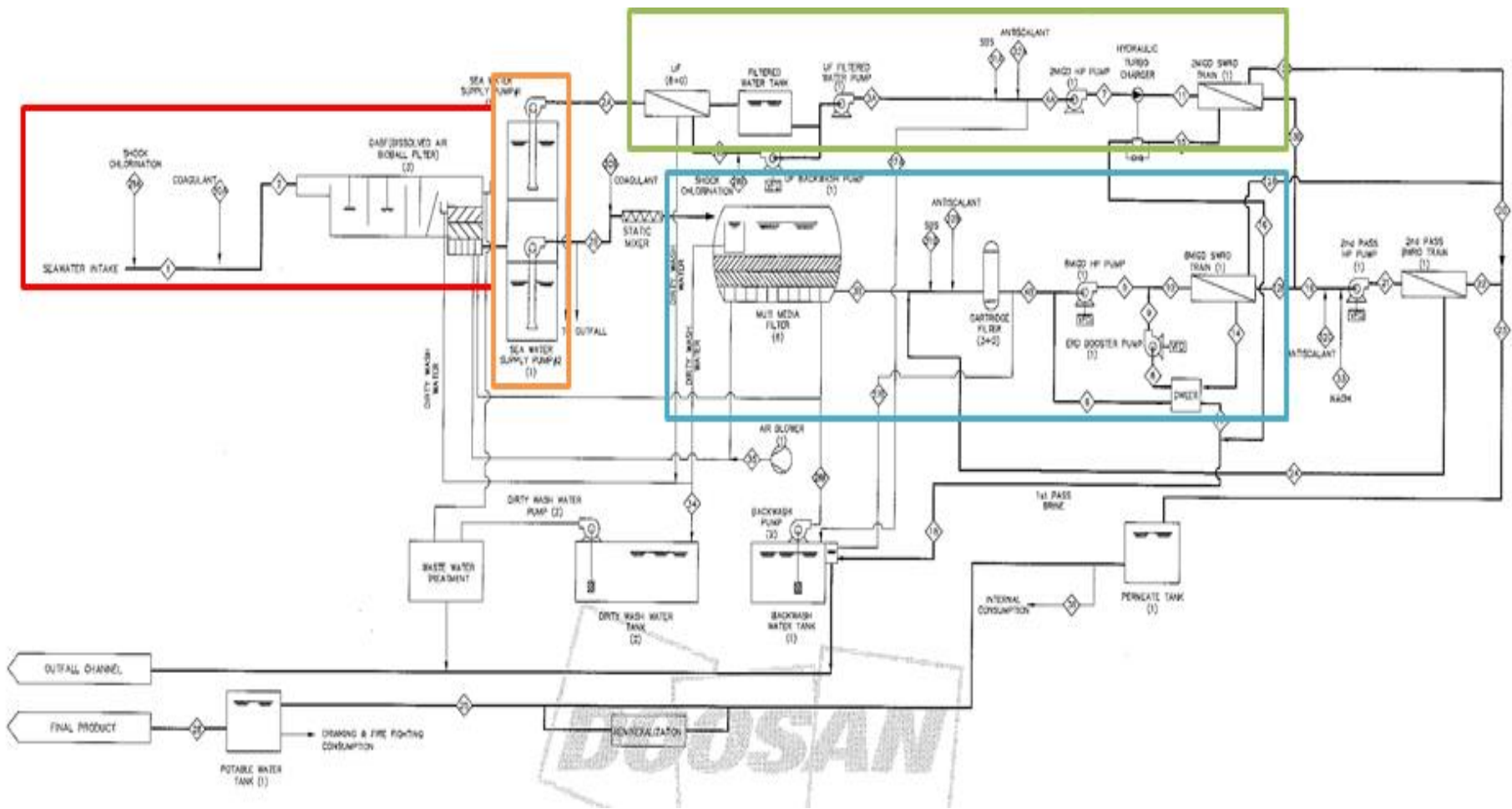
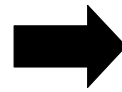
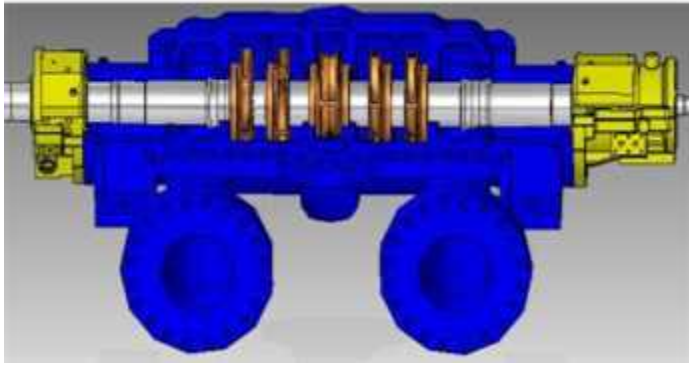


그림 65. 기장 플랜트의 P&ID

표 22. 기장 역삼투방식 해수담수화 플랜트 상세 사양

항 목		사 양	개(대) 수	기 타
DAF	크기(m)	W9.0m×L7.2m×H6.7 m	3 지	-
	포화용액주입량	원수유량 대비 10-12%	1 대	Saturator: 직경3,000mm, 높이4,700mm
MMF	여과조크기	∅ 3.8m×L 12.5m	6개	가압식, 병렬
	여재층높이	- Filtralite NC: 600 mm - Filtralite HC: 600 mm - Gravel: 100 mm	6개조동일	여과면적 53m ² /1지
	여재크기	- Filtralite NC: 1.5~2.5 mm - Filtralite HC: 0.8~1.6 mm - Gravel: 2~5 mm	6개조동일	-
RO (8MIGD)	막모듈개수	구경: 16인치 막여과면적(148.6m ² /1개):	8MIGD: 798개	제조사: 도레이케미칼 제품명: RE16040-SHF
	멤브레인	1멤브레인/7모듈	114 멤브레인	-
	고압펌프	1,611.7m ³ /hr×618.8mH ×3600kW	1 대	-
MF	막모듈개수	216 mm × 2,230 mm	6 Trains, 288개	제조사: 코오롱 제품명: Cleanfil [®] -P70R
	막여과면적 (m ² /1개)	70 m ² /1개, 공경 0.1μm	-	중공사 PVDF재질 (공경크기로는 MF에 해당)
	여과펌프	원심 890 m ³ /hr×47 mH 250kW×6600V×3P×60Hz	1대(예비 1대)	-
RO (2MIGD)	막모듈개수	구경: 16인치 막여과면적(148.6m ² /1개):	2MIGD: 203개	제조사: 도레이케미칼 제품명: RE16040-SHF
	멤브레인	1멤브레인/7모듈	29 멤브레인	-
	고압펌프	835m ³ /hr×400mH ×1350kW	1 개	-
RO 2 nd (2단 RO)	막모듈개수	구경: 16인치 막여과면적(148.6m ² /1개):	5.1MIGD : 154개	제조사: 도레이케미칼 제품명: RE16040_BLR
	멤브레인	1멤브레인/7모듈	22 멤브레인	-
	고압펌프	1,071m ³ /hr×253mH ×1100kW	-	-
배출수 DAF 펌프	슬러지펌프	DAF Sludge pump: 95m ³ /hr× 30mH×15kW Ball filter Sludge pump: 95m ³ /hr× 30mH×30kW	DAF Sludge pump: 2대 Ball filter Sludge pump: 1대	-

- 기장플랜트 에너지 저감을 위해 적용된 기술
- 인테이크 펌프를 없앴 : 자연유하식으로 DABF까지 처리
- 고압펌프/해수공급 펌프의 대형화를 통한 펌프 효율 극대화 추진과 VFD 적용



양정 : 618.8 m
 효율 : 85% 이상
 (세계 2위)

그림 66. 기장플랜트 고압펌프 모식도

- ISOBARIC type의 에너지 회수장치 적용으로 인하여 에너지 회수 효율 극대화 (95%이상)
- 스플릿 파살 설계 및 운영을 통하여 2nd pass의 설계용량을 최소화함.

○ 30,000 m³/d 용량의 광양 해수담수화 플랜트

- 생산수 기준 총 30,000 m³/d 규모의 역삼투공정 해수담수화 플랜트로 광양제철소내 공업 용수 공급을 목적으로 건설
- 그림 67에서 보여주는 것처럼 전형적인 역삼투 공정의 기술 공정 흐름에 따라서 건설되었음

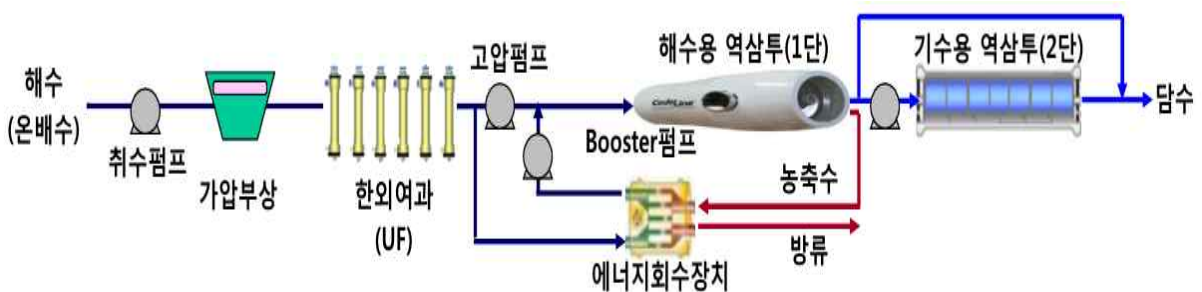


그림 67. 광양제철소 내 30,000 m³/d 플랜트의 기술계통도

- 에너지 저감을 위해 적용된 기술

- 취수설비 대신 광양제철소내 온배수를 이용함으로써 온도에 따른 플랜트 증대 효과와 온도변화 최소화를 통해 운영의 안정성 확보
- ISOBARIC type의 PX를 에너지 회수장치로 적용하여 에너지 회수 효율 극대화 (95%이상)
- (Tankless 설계) UF의 생산수를 직접 HP 펌프로 직접유입 함으로써 불필요한 펌프를 생략
- 고효수율을 위한 ISD 설계와 적용 : 고폴력스 막 적용에 따른 에너지 저감

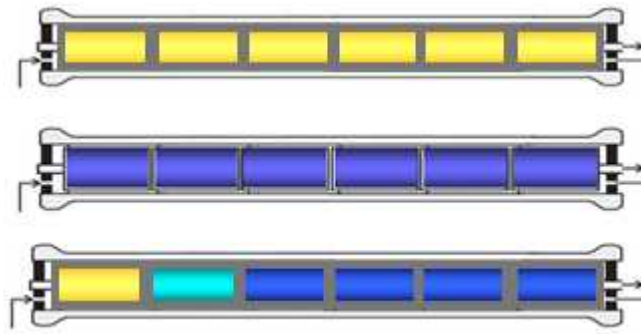


그림 68. 벅셀내 ISD 설계에 대한 예

○ 기장 및 광양 플랜트의 전력효율성

- 3.7 ~ 4.0 kWh/m³ 범위에서 전력효율성을 나타내고 있음
- 기본적인 재래식 트레인 설계 기법을 벤치마킹하여 설계함으로 인하여 설계의 안정성을 확보하였으나, 선진국 기술을 따라함으로 인하여 기술격차가 존재

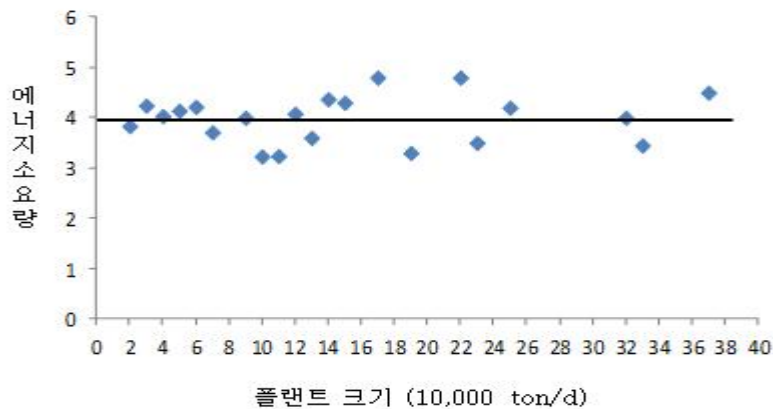


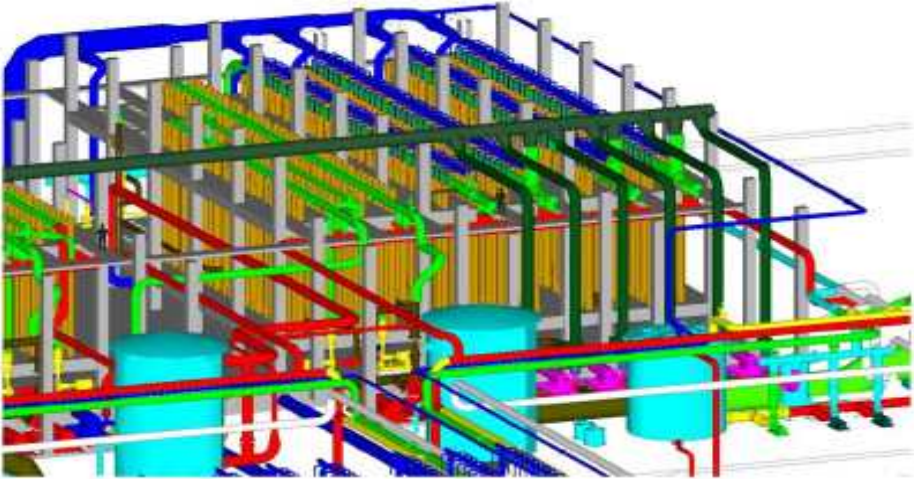
그림 69. 세계 역삼투방식 해수담수화 플랜트 에너지 소요량과 국내 기술 비교

나. 세계적인 수준의 플랜트 분석

- 세계 역삼투방식 해수담수화 플랜트에서 설계와 기술적인 면에서 가장 대표적인 플랜트는 애쉬칼론 플랜트와 소렉 플랜트를 예로 들 수 있음.
 - (애쉬칼론 플랜트) 새로운 중앙집중식 설계방식으로 에너지 저감과 당시 가장 경제적인 생산수 단가를 기록함.
 - (소렉 플랜트) 수직형 역삼투막 방식으로 설계되었으며, 16 인치 막을 본격적으로 적용한 대표적인 담수화 플랜트임
 - (투아스프링 플랜트) 세계에서 생산수 단가가 가장 저렴한 플랜트로 하이플릭스사의 기술력에 대한 브랜드 가치를 상승시킨 대표 플랜트로 분류
 - (El Coloso와 Madinat Al-Jubail Yanbu Al-Sinaiyah 플랜트) ISD를 적용한 대표적인 실 플랜트로 유명
 - (Larnaca desalination 플랜트) 스플릿 파살 운영기법을 적용한 대표적인 플랜트

- 대표적인 해수담수화 플랜트 혁신 설계 플랜트의 상세 분석

- Soreq Desalination Plant

플랜트명 (위치)	Soreq Desalination Plant (North of Israel)		
생산용량 (m ³ /d)	624,000	생산수 기준	< 300 ppm TDS
공급처	IDE Technologies Ltd., Hutchison Water International Holdings Pte. Ltd.		
플랜트 공정도			

	<p><16인치 수직구조 트레인 디자인 도면></p>
<p>특징적인 설계요소</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Intake 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 2400 m 떨어진 곳에서 2 open sea intake head가 위치하여 있고 최저 수심 6 m에서 취수되어짐. - 최소한의 여타 공정의 방해물질의 흡수를 최소화하기 위해서 slow suction velocity (0.15 m/s)를 적용하였음 - Automatic active cathodic protection 시스템이 설치되어있음 ○ 전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 화학약품 투입 및 Flocculation channel - Dual Media Gravity Filtration (DMF) - 모래, 안트라사이트 - 저압 boost pump ○ 16인치 막여과 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 시장지배적인 8인치 멤브레인 모듈이 아닌 16인치 멤브레인 모듈을 이용 - 16인치 막여과 시스템을 사용함으로써 플랜트의 Footprint를 대폭 줄여서 10 ha가 됨. - 세계 최대 담수 생산 플랜트. ○ 압력 중앙 집중형 설계 (Ashkelon 방식) <ul style="list-style-type: none"> - 소규모의 트레인을 나열하여 설계하고 모두를 대형화된 고압펌프와 에너지 회수장치에 연결함으로써 에너지 효율을 높였음 - 고압펌프의 효율성 증대를 위해 대형화가 유리하다는 점에 있으며, 여러 개의 부품소재를 대형 부품소재로 간소화할 수 있다는 장점이 있음 - 에너지 효율성과 경제적인 효율성 면에서 일정규모 이상의 대형플랜트에서 애쉬켈론 설계방식이 효율적인 것으로 평가됨 ○ 중앙식 고압 펌프 <ul style="list-style-type: none"> - 계절 또는 다양한 일교차에 의한 온도 변수를 고려한 압력 조절식 펌프를 설치함.
<p>그 외 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 모니터링 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 온라인으로 지속적으로 수질에 대해서 감시 가능한 모니터링 시스템

	○ 후처리 시스템 - 소독 및 미네랄 및 재 경수화 공정 사용.
--	--

- Tuaspring plant

플랜트명 (위치)	Tuaspring Desalination Plant (Singapore)		
생산용량 (m ³ /d)	318,500	생산수 기준	< 10 ppm ~ 1000ppm TDS
공급처	Sembawang, Hyflux		
플랜트 공정도	<p><전체 플랜트 조감도 및 역삼투 시설></p>  		
특징적인 설계요소	<p>○ 세계 2번째 고용량 UF 전처리 공정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미생물과 부유성 고형물의 탁월한 제거 효율을 보이는 UF가 전처리의 초대형화 - 두 단위 유닛이 취수부, 고압펌프, 에너지 회수장치 및 후처리장치를 공유함으로써 대형화를 달성 <p>○ 2 Pass RO 공정</p>		

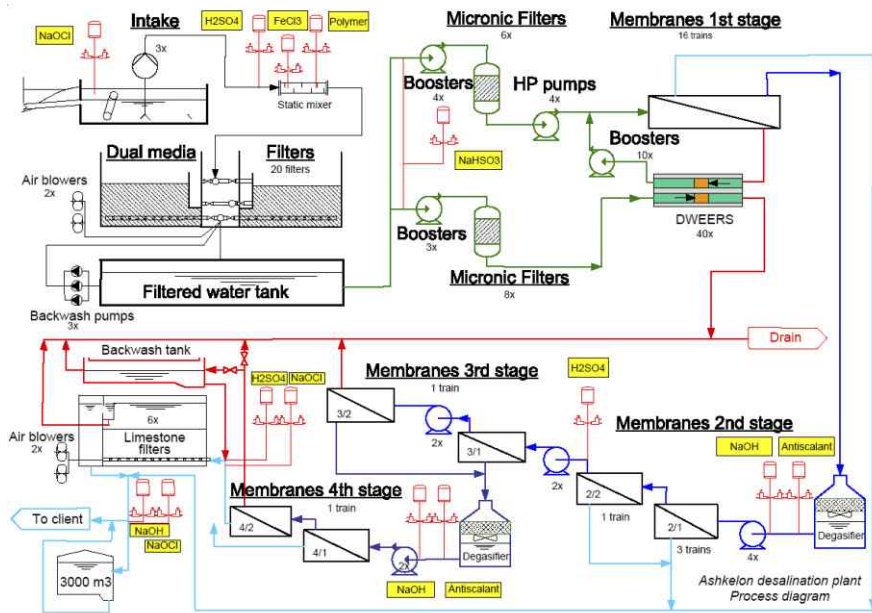
	<ul style="list-style-type: none"> - SWRO 1,000 psi와 LPRO 300 psi로 구성되어 있음. - 압력용기 당 7 element 사용 - 총 26개의 트레인으로 구성. SWRO 트레인 17기, LPRO 트레인 9기로 구성 - SWRO의 경우 216용기로 구성, LPRO의 경우 132용기로 구성 - 총 4,860용기로 총 318,500 m³/d 생산
그 외 특징	<ul style="list-style-type: none"> ○ 411 MW 발전소와 연계 <ul style="list-style-type: none"> - 제약된 공간의 최대한의 효율을 위해 발전소와 연계된 담수화 시설이다. ○ 411 MW 발전 ○ 세계 최저의 0.36\$/m³
참고문헌	Desaldata.

- Ashkelon plant

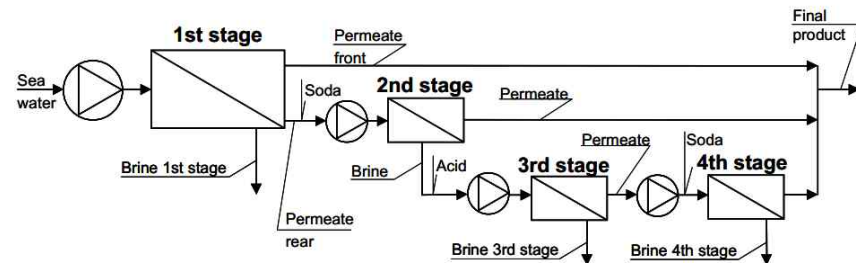
플랜트명 (위치)	Ashkelon Desalination Plant (South of Israel)		
생산용량 (m ³ /d)	330,000	생산수 기준	< 300 ppm TDS, < 0.4 ppm boron
공급처	Veolia Water, IDE Technologies Ltd., Elran Infrastructures Ltd.		

플랜트 공정도

<전체 공정도>



<캐스케이드 구조 (4단 stage)>



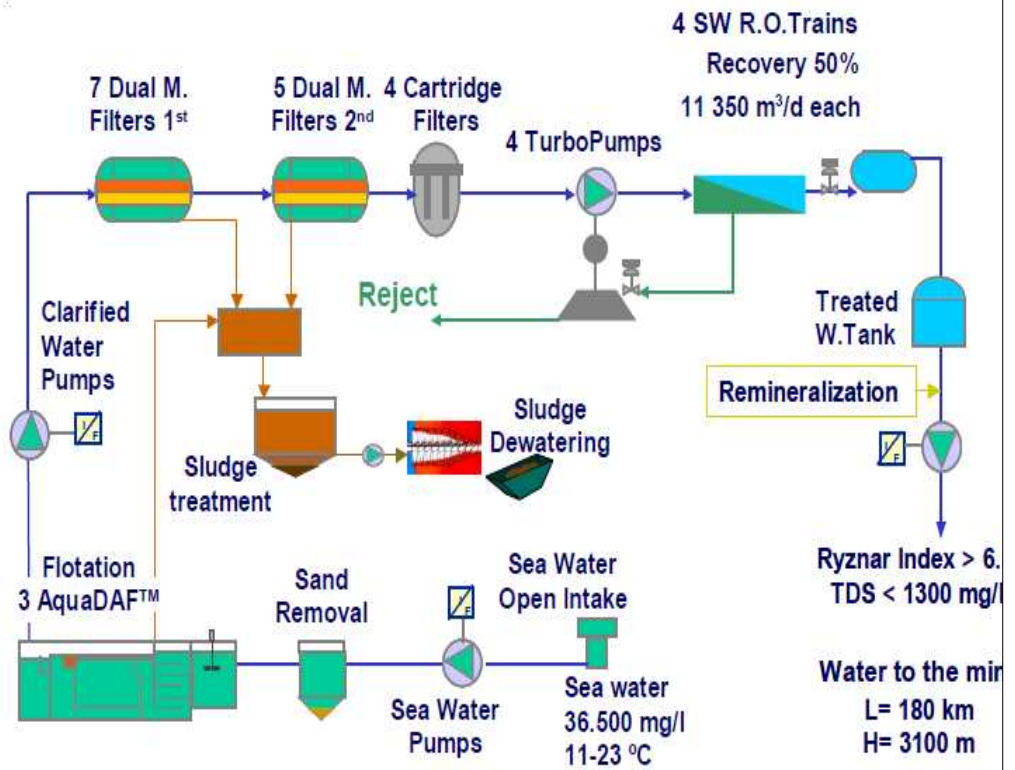
특징적인
설계요소

- 분리설계를 통한 공정 효율 극대화
 - 전체 역삼투공정을 두 개의 동일한 단위 유닛으로 설계하여 운영 및 유지관리에 장점을 가짐
 - 두 단위 유닛이 취수부, 고압펌프, 에너지 회수장치 및 후처리장치를 공유함으로써 대형화를 달성
- 고압펌프와 에너지 회수장치의 집중화 및 대형화
 - 소규모의 트레인을 나열하여 설계하고 모두를 대형화된 고압펌프와 에너지 회수장치에 연결함으로써 에너지 효율을 높였음 (생산수 단가 : 0.53\$/ton (2005년 당시), 세계 최저 수준의 생산수 단가)
 - 고압펌프의 효율성 증대를 위해 대형화가 유리하다는 점에 있으며, 여러 개의 부품소재를 대형 부품소재로 간소화할 수 있다는 장점이 있음
 - 에너지 효율성과 경제적인 효율성 면에서 일정규모 이상의 대형플랜트에서 애쉬켈론 설계방식이 효율적인 것으로 평가됨

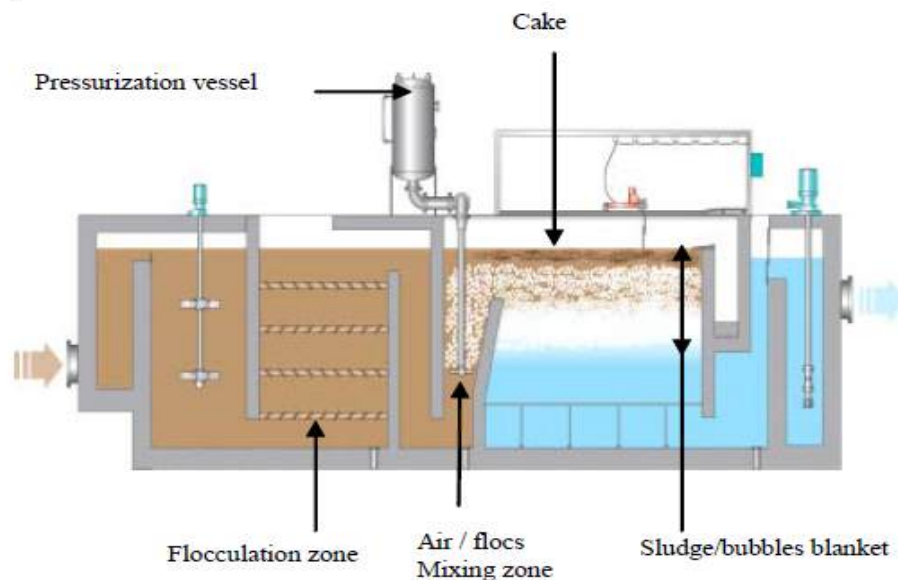
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 캐스케이드 구조 (4단 stage)를 통한 양질의 담수생산 <ul style="list-style-type: none"> - 단계별로 회수율 및 pH 조절을 통한 생산수 기준 달성 - 스케일 방지 효과를 통한 역삼투막 수명이 증가됨
그 외 특징	<ul style="list-style-type: none"> ○ Offshore intake 및 저속 여과 전처리 설비 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 제약된 공간 활용 및 스케일 방지를 위한 open sea intake 수행 - Polyethylene 재질 관을 사용함으로써 clogging 현상을 예방함 - 이중여재 (Quartz sand, anthracite)를 사용한 여과장비를 저속 운전함 (8 m/h)으로써 원수수질에 관계없이 안정적인 전처리 가능
참고문헌	Bruno Sauvet-Goichon et al., Desalination 203:75-81 (2007) Andreas Gorenflo et al., Desalination 203:82-90 (2007)

- El Coloso plant

플랜트명 (위치)	El Coloso desalination plant (Chile) Madinat Al-Jubail Yanbu Al-Sinaiyah		
생산용량 (m ³ /d)	45,360	생산수 기준	< 400 ppm TDS
공급 대상	Minera Escondida Limitada (MEL)		
플랜트 공정도	<p><전체 공정도></p>		



< 전처리 시스템 DAF 공정도 >



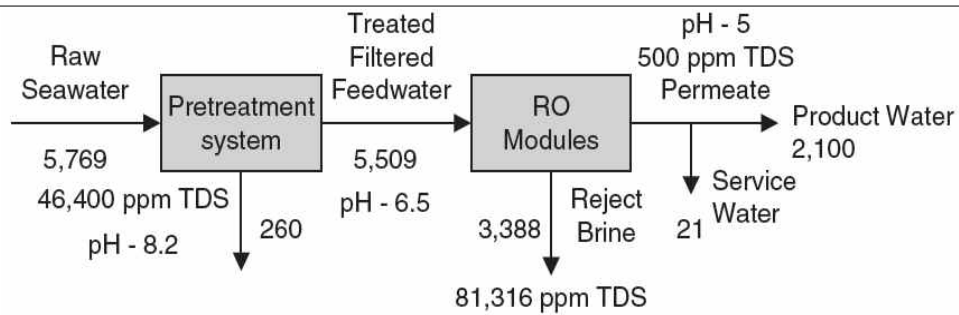
특징적인
설계요소

- Intake 시스템
- 30m³/h 용량 펌프 시스템

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전처리 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 3 high rate flotation AquaDAF™ - 60 m²(average 22m/h, maximum 33m/h raising velocities) - 2 stage DMF (2단상 여과)시스템 ○ Internally staged design <ul style="list-style-type: none"> - 4 train - 137 pressure vessels - 7 Filmtec 해수용 8인치 elements - 전단부 2개는 high rejection, 후단부 5개는 standard type. - 11 ~ 23 °C - 회수율 50 %
그 외 특징	<ul style="list-style-type: none"> ○ Offshore intake 및 저속 여과 전처리 설비 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 제약된 공간 활용 및 스케일 방지를 위한 open sea intake 수행 - Polyethylene 재질 관을 사용함으로써 clogging 현상을 예방함 - 이중여재 (Quartz sand, anthracite)를 사용한 여과장비를 저속 운전함 (8 m/h)으로써 원수수질에 관계없이 안정적인 전처리 가능
참고문헌	Bruno Sauvet-Goichon et al., Desalination 203:75-81 (2007) Andreas Gorenflo et al., Desalination 203:82-90 (2007)

- Madinat Al-Jubail Yanbu Al-Sinaiyah plant

플랜트명 (위치)	Madinat Al-Jubail Yanbu Al-Sinaiyah (Saudi)		
생산용량 (m ³ /d)	50,000	생산수 기준	< 500 ppm TDS
공급처	Saline Water Conversion Corporation (SWCC)		
플랜트 공정도	<전체 공정도>		



○ 플랜트 설계 인자

Plant capacity (m ³ /day)	50,400 [13.3 MGD] @ 22°C seawater temperature
Number of trains	6
Permeate total dissolved solids (TDS) (mg/l)	500
Permeate chloride as Cl ⁻ (mg/l)	250
Seawater TDS (mg/l)	46,400
Seawater conductivity @ 25°C (umhos/cm)	57,000–64,000
Seawater temperature (°C)	22–33
Seawater pH	8.1–8.3
Residual chlorine @ RO plant intake as Cl ₂ (ppm)	0.1–0.25
Permeate recovery ratio (%)	38.5
Pretreatment recovery rate (%)	95
RO pump pressure (kg/cm ² g)	64–76
Pretreatment methods	Filtration and chemicals injection
DMF filter effluent silt density index (SDI)	4
RO membrane	Cellulose triacetate (CTA) double element hollow fine fiber (HFF)
Total number of membrane elements	1824
Number of membrane modules per train	152
Number of membrane elements per module	2
Arrangement of permeators	Horizontal position in parallel
Membrane life	5 years with 12% annual replacement
Power consumption (kWH/m ³)	5.2
Chlorination method	Intermittent
pH of pretreated filtered seawater	6.5
Permeate pH	5

특징적인 설계요소

○ 전처리 설계

- 전처리 DMF 미디어 기준

Media	Depth (mm)	Media size (mm)
Gravel	200	2–4
Sand	400	0.4–0.8
Anthracite	600	0.8–1.6

- 화학약품 주입량

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Chemical</th> <th>Dosage, ppm/m³ permeate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H₂SO₄ (98%)</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td>FeCl₃</td> <td>5.2</td> </tr> <tr> <td>NaHSO₃</td> <td>15.2</td> </tr> <tr> <td>NaOH</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td>Ca(OH)₂</td> <td>45.7</td> </tr> <tr> <td>NaOCl</td> <td>1.4^a</td> </tr> <tr> <td>Organic polyelectrolyte</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>Antiscalant</td> <td>2.6</td> </tr> </tbody> </table>	Chemical	Dosage, ppm/m ³ permeate	H ₂ SO ₄ (98%)	170	FeCl ₃	5.2	NaHSO ₃	15.2	NaOH	67	Ca(OH) ₂	45.7	NaOCl	1.4 ^a	Organic polyelectrolyte	1.4	Antiscalant	2.6
Chemical	Dosage, ppm/m ³ permeate																		
H ₂ SO ₄ (98%)	170																		
FeCl ₃	5.2																		
NaHSO ₃	15.2																		
NaOH	67																		
Ca(OH) ₂	45.7																		
NaOCl	1.4 ^a																		
Organic polyelectrolyte	1.4																		
Antiscalant	2.6																		
<p>그 외 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전처리 시스템 개요 <ul style="list-style-type: none"> - Sodium hypochlorite를 이용하여 조류 및 박테리아를 제거하여 막내의 미생물의 성장억제를 함. (0.5 ~ 0.7 ppm) - 유기물과 비유기물의 제거를 위해서 Ferric chloride 와 organic polyelectrolyte를 주입함. - Floc화된 물질들은 중력식 DMF시스템을 이용하여 제거됨. ○ 압력 시스템 개요 <ul style="list-style-type: none"> - 6개의 병렬식 고압 Centrifugal horizontal 펌프를 이용하여 6개의 역삼투 트레인에 원수를 공급하며 유량은 5509m³/h (918m³/h 단위 트레인당)임 - 총 733 m 수두로 배출함, 2개의 펌프는 1개의 에너지 회수장치와 연결됨 - 에너지 회수 터빈형식으로 Pelton Wheel 조합으로 이루어져 있음. ○ 역삼투 여과 시스템 개요 <ul style="list-style-type: none"> - 각 역삼투 트레인은 350m³/h(2.2MGD)의 용량이며 64~76kg/cm²g으로 디자인됨. - CTA hollow fiber 모듈을 사용하며 각 압력 용기 당 2개의 모듈이 포함되어 있으며, 시스템 내에 총 1824개의 element가 설치되어 있다. 그중 152개는 2stage에서 사용됨. ○ 생산수 시스템 개요 <ul style="list-style-type: none"> - lime을 이용한 경수화 시스템을 통해서 미네랄이 부족한 물의 경도와 알칼리도 그리고 pH를 적정하게 맞춤 ○ 컨트롤 시스템 개요 <ul style="list-style-type: none"> - Distributed control system (DCS)를 이용하여 역삼투 플랜트의 모니터 																		

	<p>링과 컨트롤을 동시에 수행하고 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 각 공정의 sensor에서 수집된 정보는 중앙 운영 스크린에 실시간으로 제공됨. - 유량, 압력, 원수, 생산수, 농축수, pH, 전도도, 온도, 압력 강하, 회수율, 장비 상태등이 모니터링 되고 있다.
참고문헌	Khawaji et al., Desalination 203 : 176-188 (2007)

- Larnaca plant

플랜트명 (위치)	Larnaca desalination plant (Cyprus)
생산용량 (m ³ /d)	64,000
공급 대상	IDE Technologies LTD
플랜트 공정도	<p><전체 공정도></p> <pre> graph LR 1[1 Sea Water Intake] --> 2[2 Pre-Treatment] 2 --> 3[3 Reverse Osmosis] 3 --> 4[4 Post-Treatment] 4 --> 5[5 Storage & Distribution] </pre> <ul style="list-style-type: none"> 1 Sea Water Intake <ul style="list-style-type: none"> • Suction Head • Intake pipe • Screens • Pumping station 2 Pre-Treatment <ul style="list-style-type: none"> • Coagulation / Flocculation • Dual Media Filtration • Booster pump • Micro filtration 3 Reverse Osmosis <ul style="list-style-type: none"> • High Pressure Pumps • Membrane Trains (1st & 2nd stage) • Energy Recovery • Antiscalant dosing 4 Post-Treatment <ul style="list-style-type: none"> • Chemical dosing • Limestone Reactors 5 Storage & Distribution <ul style="list-style-type: none"> • Product tank • Chlorination • Pumping station (13km)
특징적인 설계요소	<ul style="list-style-type: none"> ○ Intake 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - Open Intake 시스템을 이용함 - 1100m 부근 해안가 수중 11m에서 취수됨. - 유량 80,000 m³/h로 취수되며 관경은 12m임. - Rotary screen에 의해서 2mm이하의 입자들은 제거됨 ○ 전처리 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 저속 교반기 와 12개의 중력식 여과지로 구성됨 - 여과지의 여과상은 모래와 안트라사이트로 이루어져 있음 - 2 stage DMF (2단상 여과)시스템 ○ 역삼투 트레인 디자인

	<ul style="list-style-type: none"> - 고압펌프는 다양한 운전조건 별로 운전의 조절이 가능한 가변식 펌프로 이루어짐. - 에너지 회수 장치는 Pelton turbines이 이용됨 - 역삼투 트레인은 120개의 압력용기로 이루어진 12줄로 구성되어 있음 이 압력용기들은 8개의 element로 설계됨. - 트레인의 전단부 생산수와 후단부 생산수가 분리되어 운영되는 스플릿 파살 방식으로 설계되어 총 3.4 kWh/m³의 에너지 소비를 보임.
그 외 특징	<ul style="list-style-type: none"> ○ 프로젝트 가격 : 47million \$ ○ 생산수 단가 : 0.79\$/m³ ○ 플랜트 Footprint : 160m * 100m

다. 시장 진입을 위한 전략적 방향성

기술의 전략적 방향성

- 현 시장을 위해 증발식이 아닌 역삼투식 기술 개발에 집중
 - O&M 기술의 부족으로 현재 시장 발주 변화에 대한 대처가 어려울 것으로 판단
 - 현 시점에서 경쟁력 확보를 위해 세계 중위권수준의 에너지 소모율을 세계 수준까지 상승할 필요있음
- 국내가 아닌 현지화 기술개발이 필요
 - 핵심적인 시장을 중심으로 현지화 기술개발 전략 추진 (중동지역을 중심으로 기술개발)
 - 현지 수질 기준으로 에너지 저감 기술을 확보할 필요성 증대
 - 국내 기술의 브랜드화를 통해 잠재적 기술 가치의 증대를 위한 전략 추진

- 현 해수담수화 시장에서의 발주기술은 90% 이상이 역삼투방식 해수담수화 기술이므로 이에 집중하여 기술 개발이 요구됨
- (설계와 EPC) 해수담수화 플랜트 사업단에서의 기 개발된 역삼투방식 해수담수화 기술은 세계적인 수준으로 평가될 수 있음. 특히 8 MIGD급에 대한 트레인 설계기술은 세계 최대 단일 트레인으로 설계가 됨

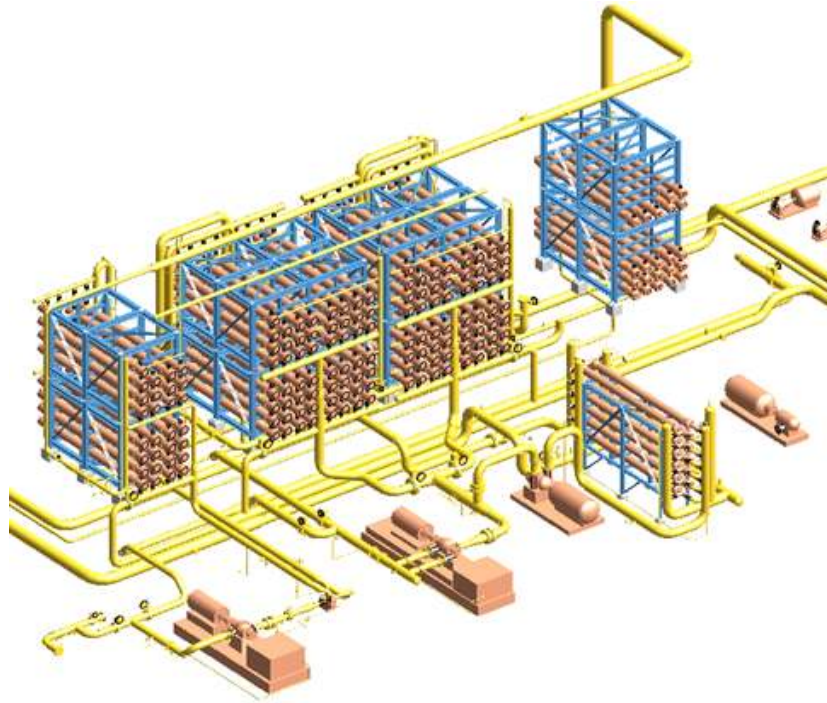


그림 70. 기장플랜트의 재래식 트레인 설계 안

- (O&M) 운영기술에 대한 경험부족 및 이에 따른 실적 부족으로 현재 시장 진입이 힘들
- 역삼투방식 해수담수화 플랜트 공정고도화 연구단을 통해서 연구개발 중에 있음
- * ICT 기술접목을 통해 기장플랜트를 활용 전체 에너지 3.5 kWh/m³이하의 기술 개발을 목표로 함

○ 현 역삼투 해수담수화 기술에 대한 시사점

- 국내 기술의 현 주소는 **에너지 소모율 기준으로 중위권**을 유지하고 있는 것으로 분석됨. 다만 **공정고도화 연구단**에서 연구목표 달성시 **현 수준에서 한단계 업그레이드**가 기대됨
- 현재 기술개발 대상이 되는 기장플랜트의 유입수 조건은 32,000 mg/L 내외의 비교적 염도가 낮으므로 이에 따른 상대적인 에너지 소모율 저하가 예상됨. 그러나 세계 최대의 해수담수화 플랜트 시장은 **중동지역**이며, 이지역을 대상으로 할 경우 현재 **국내에서 기술 목표가 유지될 것을 기대하기는 어려움**
- 또한 현 역삼투 공정에 대한 **기술적 인지도가 낮은 상황**에서 국내에서 기술개발이 된다고 하더라도 **세계 시장진입 장벽은 높을 것으로 예상됨**
- 따라서 세계 시장에 대한 진출을 위해서는 이러한 약점을 극복할 수 있는 새로운 패러다임을 중심으로 기술개발 전략을 추진할 필요가 있음

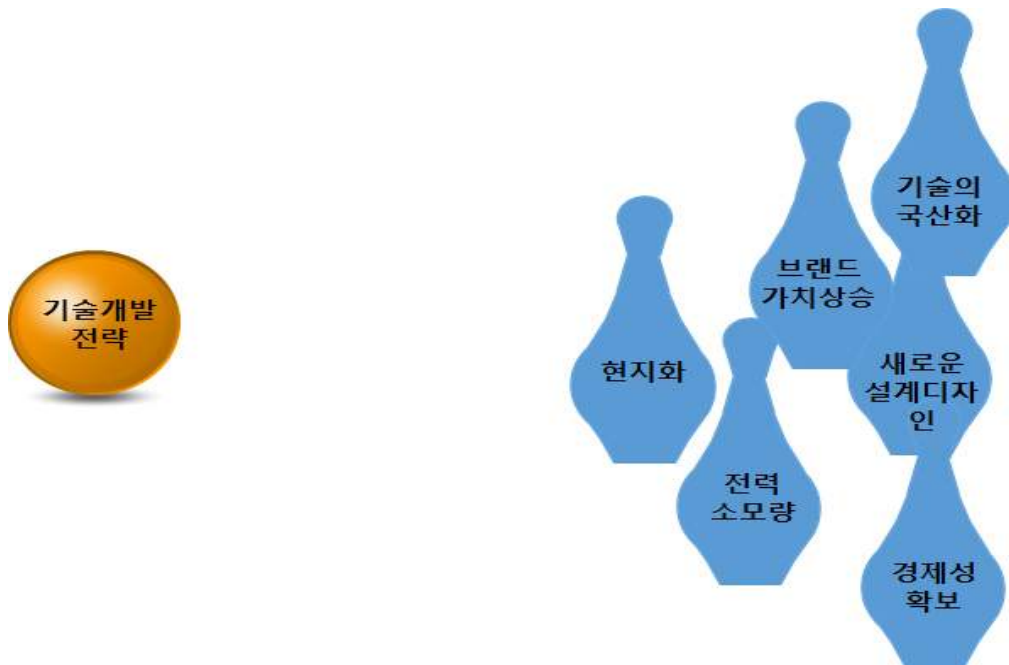


그림 71. 현 기술로부터의 기술개발 핵심 키워드

○ 현지화 전략

- (핵심목표가 되는 해수담수화 시장) 그림 72에 나타난 바와 같이 전체 해수담수화 시장에서 50% 이상이 중동 및 아프리카 지역에 집중
- 타 대륙의 경우 기수 담수화와 해수담수화가 혼재되어있으나, 중동 및 북아프리카 지역은 90%이상이 해수담수화로 분류되므로 실질적인 시장규모에서는 더 차이가 날 것을 예상됨
- 경제적인 면에서 시장 공략을 위한 집중적인 목표인 50,000 m³/d 급 이상의 초대형 플랜트는 표 23에 나타난 바와 같이 물량기준으로는 전체 용량의 약 47%를 나타내고 있으나, 2015년 현재를 기준으로 251개 프로젝트이며 모든 프로젝트 수의 약 2%로 거대 기업간 치열한 경쟁이 발생한다는 것을 알 수 있음.
- 생산수 물량기준으로 초대형 프로젝트 70%가 그림 72에 나타난 것처럼 중동 및 북아프리카 지역에 집중되어 있으므로 경제적 관점에서 중동 및 북아프리카 지역을 전략적 집중공략 지역으로 선정하는 것이 타당함.

표 23. 2015년 기준 담수용량에 따른 전체 담수화 공정 프로젝트 수 (Desaliantion Market 2016, GWI 참고)

플랜트 크기	용량 (10 ⁶ m ³ /d)	프로젝트 수
초대형 (> 50,000 m ³ /d)	34.8	251
대형 (10,000 ~ 50,000 m ³ /d)	21.6	1,079
중형 (1,000 ~ 10,000 m ³ /d)	15.4	5,062
소형 (< 1,000 m ³ /d)	2.8	7,581

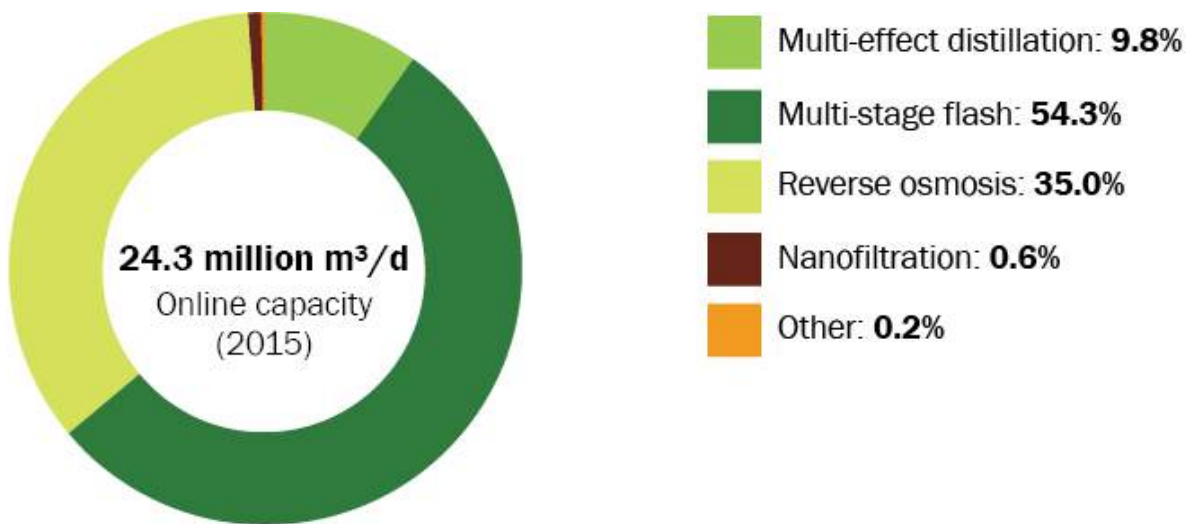


그림 72. 중동 및 북아프리카 지역의 초대형 플랜트 적용기술분류

- 단 이지역에서는 전세계 대다수의 세계 선도 해수담수화 기업의 집중공략 지역이므로 이들과 경쟁할 수 있는 기술력 확보가 중요함. 초대형 플랜트의 54.3%가 대표적인 증발식인 MSF 였으며, 향후에도 지속적으로 물량이 나올 것으로 예상되지만, 증발식 분야는 세계적인 수준의 기술력과 경험 및 인지도가 있으므로 이 물량에 대한 기술개발은 필요 없을 것으로 사료되며, RO 물량의 수주에 집중하는 것이 필요
- (핵심지역) 그림 73은 현재 해수담수화시장의 상위 10위권을 보여주는 것으로 중동 지역의 사우디아라비아가 1위이며, UAE가 3위, 쿠웨이트가 7위, 카타르가 9위로 나타남. 그러나, 실질적으로 2017년 이후의 발주 물량을 보면 UAE가 사우디아라비아 보다 많은 1위로 분석됨. 따라서 향후 UAE를 중심으로 시장 형성이 구성될 것으로 예측됨
- 2015년 3월 한국과 UAE간 체결한 4대 산업 협력 MoU 내에 플랜트 산업중 해수담수화 분야가 포함되어 있으므로 타 중동국가에 비해 전략적 시장 진출이 용이 할 것으로 분석됨

- 따라서 중동지역 중에서 UAE 지역과의 기술협력을 통해 기술개발 이후 타 중동국가 진출에 대한 전략 수립이 타당할 것으로 사료됨

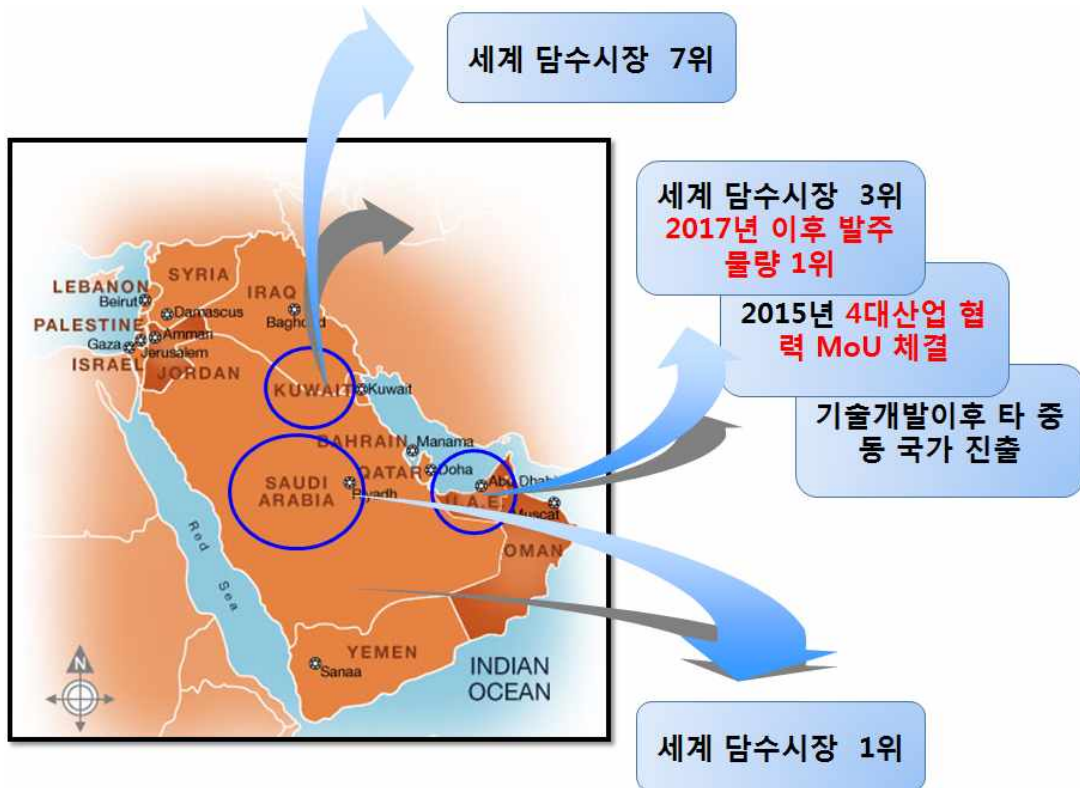


그림 73. 중동지역의 진출전략

- (향후 발주방식의 경향 분석) 그림 74는 향후 예상되는 해수담수화 발주 경향에 대한 것으로 2016년 이후 EPC (Plant purchase)의 규모이 지속적으로 상승할 것으로 예상되나, BOO/BOT의 규모도 큰 비중을 차지할 것으로 예측됨. 이것은 O&M에 대한 기술력 및 경험이 반드시 요구된다는 것을 의미하며, 향후 기술개발 부분에 현지화 및 현지 상황에 적합한 O&M 기술에 대한 확보가 중요하다는 것을 의미함

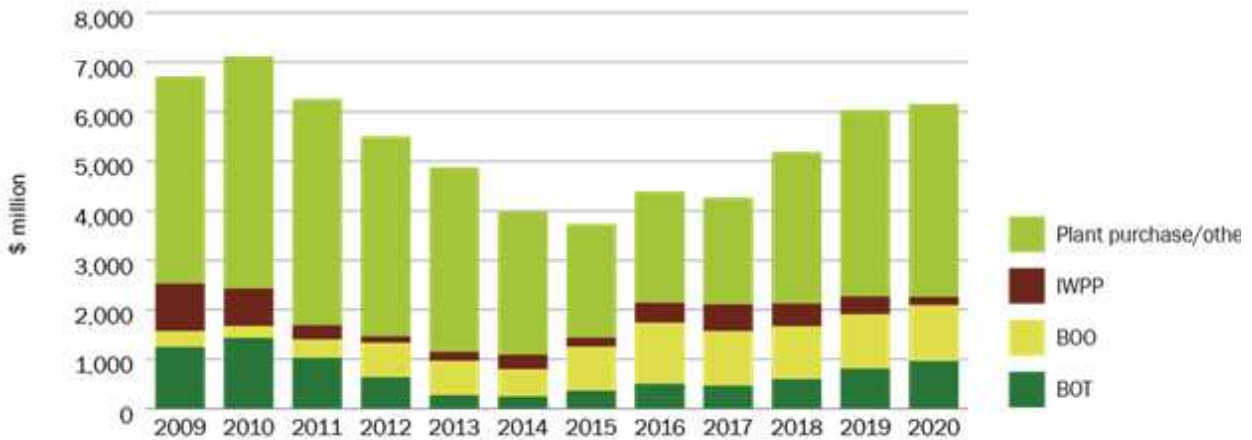


그림 74. 발주방식에 따른 해수담수화플랜트 시장 규모

- 세계 최고 수준의 기술개발을 위한 기 개발된 혹은 개발될 예정인 국내 R&D 기술의 통합 시스템을 위한 설계/시공 기술
 - (재래식 해수담수화 기술) 증발식에서 역삼투방식으로 기술의 패러다임의 완전한 전환에 따라 역삼투방식 해수담수화 기술 개발에 집중
 - (설계기술) 국내 EPC 기술은 두산중공업의 해외수주에 대한 경험은 풍부하나, 재래식 역삼투방식 트레인 설계와 시공이라는 범주에서 벗어나지 못함. 따라서 세계적인 설계 기술에 비하면 부족한 것으로 평가됨. 따라서 새로운 컨셉의 설계기술 확보를 통해 경쟁력 확보가 세계 시장 진출을 위해 필수적임.
- * IDE 사는 애쉬켈론 플랜트의 중앙집중식 트레인 설계 기술을 통해 단번에 세계적인 설계 및 시공회사로 인정 받음
 - (핵심공정) 해수담수화 플랜트 사업단에서 MF 전처리 공정, 고압펌프, 에너지회수장치, DABF 전처리공정, 역삼투막 등의 핵심 공정에 대한 기술개발 경험은 확보하였으나, 개발된 해당 공정들의 세계 시장 진출은 미흡. 이것은 각각의 공정기술로서 경쟁력을 확보하지 못하였기 때문인 것으로 분석됨. 따라서 기존 기술개발 경험을 토대로 핵심 공정들에 대한 세계적인 경쟁력 확보를 위한 기술 개발이 필요. 특히 에너지의 관점에서 가장 중요한 것은 역삼투막의 성능향상이므로 이에 대한 집중적인 기술개발과 이를 위한 전처리공정을 중심으로 기술개발
 - (O&M) 개발된 핵심공정과 통합설계기술을 통해 건설된 각 플랜트는 매년 성능저하가 발생하며, 이에 따른 경제적 손실이 발생됨. 이러한 경향은 해당지역에 대한 수질 등의 환경에 따라 좌우되므로 현지화 O&M 기술에 대한 확보를 통해서 손실을 최소화하는

것이 중요함. 현재 발주 경향은 이러한 상황을 중요시하여 BOO, BOT 형태로 하는 것으로 사료됨.

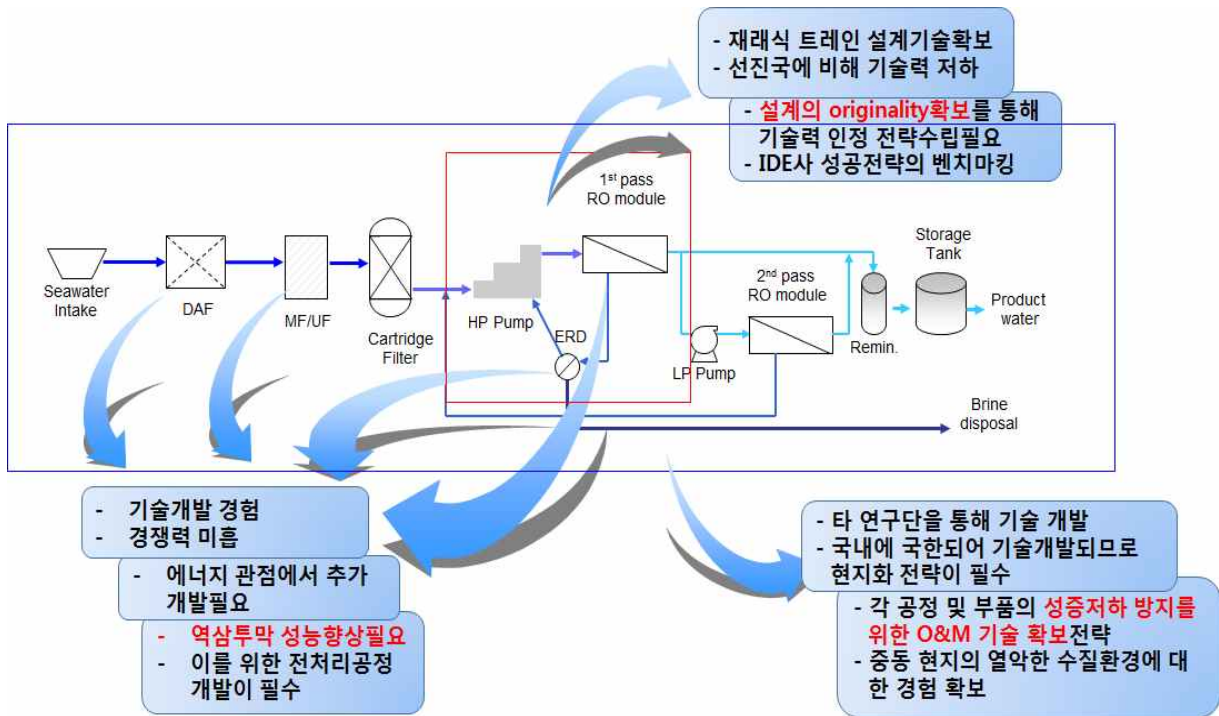


그림 75. 역삼투방식 해수담수화 설계/시공/O&M 기술에 대한 기술개발 전략

- (신재생에너지 활용기술) 비록 중동지역을 중심으로 태양에너지를 활용한 해수담수화 설비에 대한 다양한 시도가 되고 있지만 아직까지 경제성이 확보되지 않았기 때문에 시장을 형성하는 것이 힘들 것으로 판단
- (신재생에너지 인터페이스 기술) 신재생에너지를 활용하기 위해서는 에너지 공급에 대한 안정성 확보가 가장 중요한 포인트이므로 이를 위해 **다른 에너지 소스와 에너지 그리드 기술 확보가 중요함**. 더욱이 UAE를 중심으로 대형플랜트에 대한 적용성 실험이 시작되고 있으므로 미래를 대비하여 **이에 대한 기술을 확보할 필요**가 있음
- (신재생에너지 직접적용기술) 신재생에너지 특히 중동지역의 태양광 혹은 태양열을 활용하기 위해서는 해수담수화플랜트 기술에 대한 **투자비용에 비해 훨씬 많은 예산이 투여되어야 하는 상황**이며, 현재 신재생에너지 발전에 대한 연구는 **타부처에서 활발하게** 진행되고 있으므로, 본 과제에서 **직접 연구수행은 불필요할 것**으로 사료됨

○ 세계 시장 진입을 위한 기술개발과 아울러 국내 기술의 브랜드 가치 상승 필요

- (Originality) 국내 기술의 브랜드 가치 상승을 위해서는 기술의 originality를 확보하는 것이 필요함. 현 역삼투방식 해수담수화 플랜트에 대한 새로운 설계에 대한 개념정립이 요구됨
- (재래식 설계) 일반적으로 트레인의 설계는 1st 설계를 의미하며, 트레인은 그림 76에 나타난 바와 같이 고압펌프, 에너지 회수장치, RO 뱅크로 구성됨. 따라서 이러한 설계에서 에너지 효율성은 고압펌프와 에너지 회수장치의 효율성 그리고 역삼투막의 투과 성능에 좌우됨. 따라서 재래식 설계에서는 이러한 부품에 대한 통합설계가 요구되며, 이러한 설계기법에서는 사실상 설계의 originality 확보는 힘들 것으로 생각됨

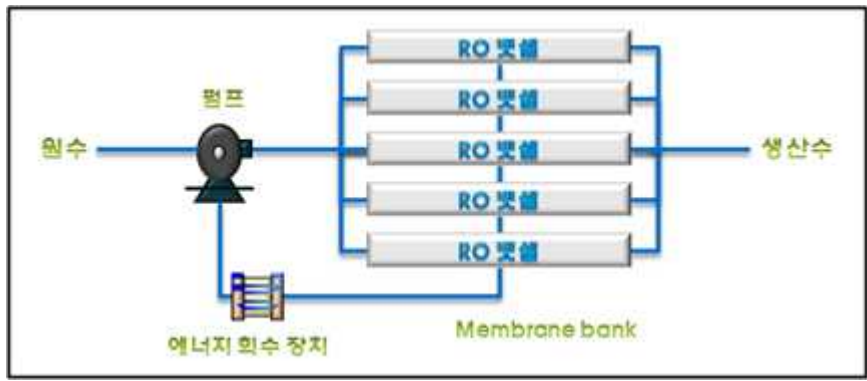


그림 76. 재래식 트레인에 대한 개념도

- (통합설계) 일반적인 해수담수화 설계는 2단 설계로 구성됨. 즉 그림 77과 같이 1st 트레인에서 생산된 생산수의 일부를 2nd 를 통해 추가 처리하여 보론 농도를 조절할 수 있도록 설계됨. 따라서 추가적인 건설비용 외에 에너지 비용이 발생함. 따라서 이때의 에너지 저감을 위해 split partial등의 다양한 변형 설계가 연구됨. 또한 많은 설계의 변법이 통합 설계 분야에서 도출됨



그림 77. 전형적인 2단 설계의 예

- (전략적 방향성) 2nd pass에 소요되는 비용적인 측면을 감소시키는 방향으로 기술개발 집중할 필요있음. 2nd pass의 주된 목적은 음용수 면에서 보론농도의 조절이므로 역삼투막 성능을 보론 농도의 조절이 가능하도록 전략적 방향성 도출과 저에너지를 위한 2nd pass 대체기술에 대한 기술개발로 originality 확보

* 참고자료 (CCD (Closed Circuit Desalination) 공정). CCD는 역삼투 공정에서의 농축수 배출을 최소화 하는 동시에 역삼투 회수율을 극대화 하는 공정 개념으로 최근 각광을 받고 있으며, 이 개념에 대한 연구는 현 Desalitech社의 설립자이면서 CTO로서 활동하고 있는 Avi Efraty 교수에 의해 정립되었음. CCD 배취식 운전을 통해 회수율을 극대화한 공정으로 해수담수화보다는 기수담수화에서 큰 강점이 있는 것으로 알려짐

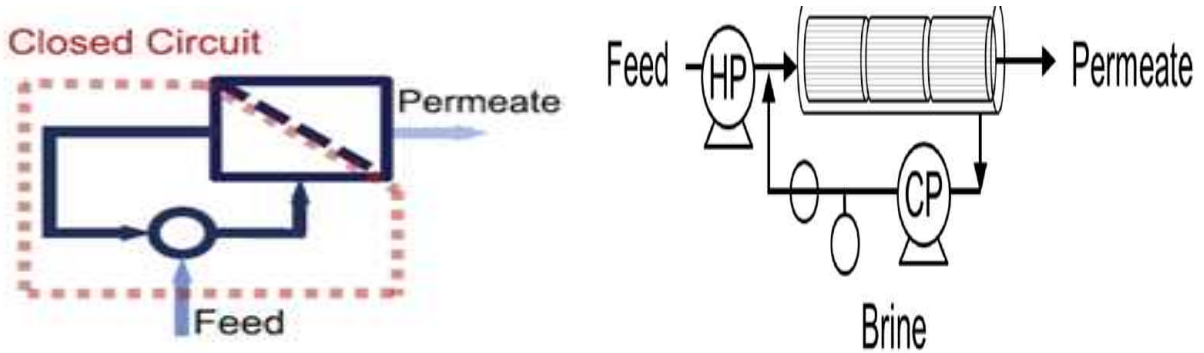


그림 78. CCD의 개념도

- (에너지 소모율) 현재 역삼투 해수담수화 기술은 에너지 회수장치의 개발로 인하여 회사 별로 큰 차이를 보이지 못하고 있는 것으로 사료됨. 따라서 에너지 저감을 위해서는 역삼투막의 투과성능에 의존하는 경향이 높음
- (역삼투막 성능) 그림 79는 역삼투막 투과성능 증가에 따라서 에너지 저감이 될 수 있음을 보여줌. 역삼투막 투과성능을 높일 경우 염제거율 저하가 있을 수 있으므로 현행 염제거율은 유지된 상태에서 투과율 증대를 할 수 있도록 2가지 목적으로 연구개발이 필요함. 표 24에서 보는 것처럼 일반적으로 고프럭스 역삼투막은 상대적으로 보론 제거율이 떨어지므로 이에 대한 성능 강화가 필요함. 그러므로 전략적 연구개발 방향성을 보론 고 제거율 막 개발에 두고 연구개발을 진행

표 24. 대표적인 고프럭스막의 성능

역삼투막 모델 (막회사)	투과성능	염제거율 (보론 제거율)
SEAMAXX (Filmtech)	17,000 GPD	99.47 % (89%)
SWC6MAX (Hydraunautics)	13,200 GPD	99.8 % (91%)
Toray korea	9,900 GPD	99.7 %
SW400 ES (LG NanoH2O)	13,700 GPD	99.8 % (89%)

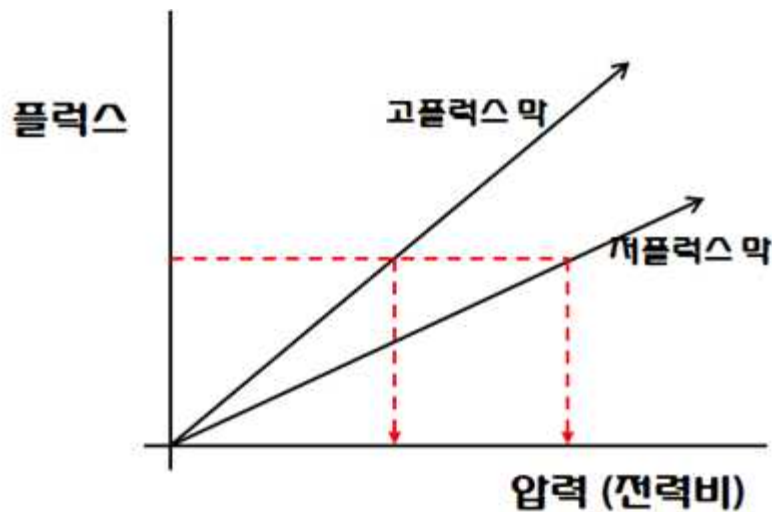


그림 79. 고프럭스막의 전형적인 전력비 저감 전략

- **(전처리공정)** 역삼투막이 고성능을 유지하기 위해서는 전처리공정에서 충분한 처리가 되어야함. 더욱이 중동지역의 해수는 국내 수질에 비하여 높은 염도와 온도, 그리고 적조등의 문제를 가지고 있으므로 이에 대한 적절한 처리기술의 확보가 중요한 것으로 판단됨. 현재 DAF와 UF 공정은 중동지역내에 일반적인 전처리공정으로서 영역을 확장하고 있으나, UF의 경우 유입수 수질 문제와 경제적인 문제로 적용규모가 작음. 따라서 **기술개발 방향을 경제적인 UF 시스템의 현지화에 무게를 두고 연구개발을 실시하는 것이 타당함.** 특히 UF 막의 플럭스를 고도화 함으로 인해서 **에너지 저감분야를 강화할 필요가 있음**

- (객관적인 기술 검증 전략) 기술의 현지화와 관련된 메인 중점사항으로서 **현지의 기관과 기술에 대한 성능평가를 함께 추진**함으로써 객관적인 평가를 통하여 기술의 검증을 추진
- (검증프로세스 벤치마킹) 현재 주된 카운터 파트너로서 UAE내 **마스다 기관에서 추진중인 파일럿 검증시스템을 벤치마킹**하여 기술의 검증을 추진함
- (파일럿 성능검증 프로그램) 그림 80은 마스다에서 진행중인 프로그램을 보여주는 것으로 1단계는 기술의 평가, 2단계는 협약, 3단계는 파일럿 플랜트로 인한 성능검증, 4단계는 FS 연구를 통한 상업화로 총 4단계로 구성되어 있음. 본 기획을 통하여 확정되는 R&D 성과물을 이러한 프로그램과 유사하게 진행할 수 있도록 추진

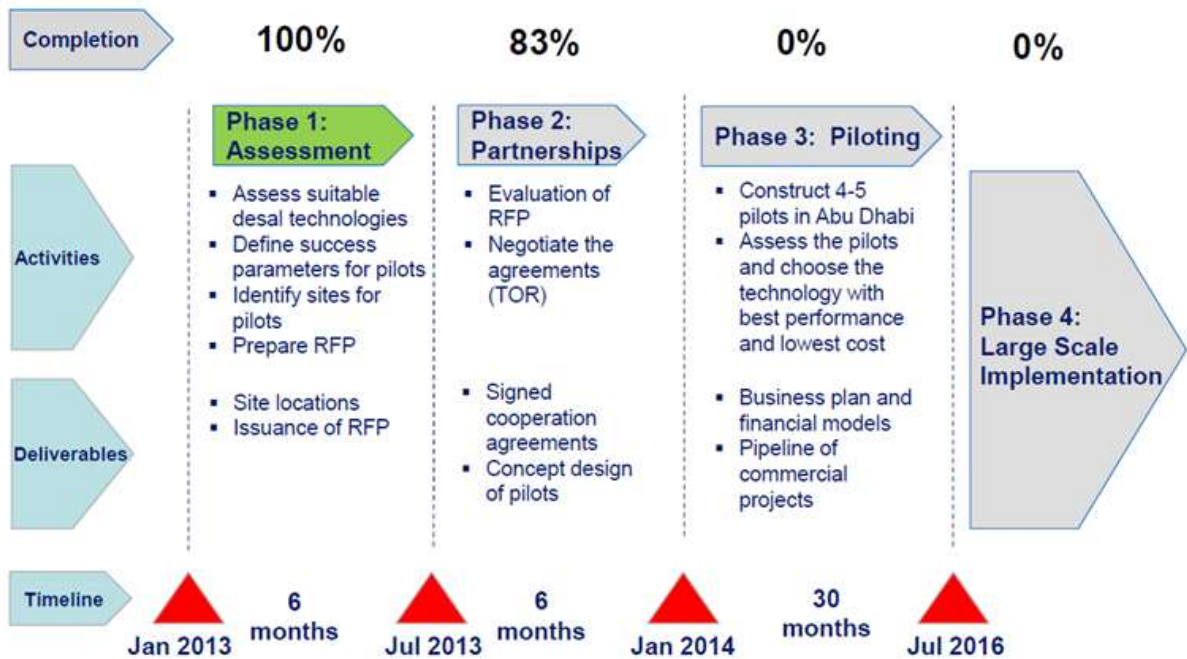


그림 80. 마스다 파일럿 검증 프로그램

- (FS 연구) 파일럿 성능검증 프로그램을 통해 100,000 m³/d 플랜트에 대한 경제성 평가를 실시하고, 이후 상업화에 대한 협의를 추진함
- * (마스다의 요구사항) 현재 마스다의 프로그램상 해수담수화 설비에 공급되는 에너지는 PV를 통해서 생산된 신재생에너지 임. 따라서 플랜트의 생산수 단가 목표를 1.5 \$/m³ 이하를 요구함. 여기서 요구하는 가격은 일반적으로 세계 최고 수준인 싱가포르의 투아스

프링 플랜트가 0.39 \$/m³에 비하면 높은 단가로 평가될 수 있으나, 신재생에너지 단가까지 포함할 경우 상당히 도전적인 목표로 사료됨

- 기술 경쟁력확보를 위한 해수담수화 플랜트 시공/운영에 대한 다양한 경험 확보
 - (현지 직접 시공 및 운영을 통한 경험 확보) 표 25는 중동의 Ras Al-Khair 지역의 수질과 국내 기장플랜트에 적용된 수질을 비교한 것으로 중동지역의 TDS가 국내에 비하여 약 10,000 mg/L 가까이 높음을 알 수 있음.

표 25. 중동지역과 국내 수질의 비교

항 목	중동지역 (Ras Al-Khair 참고)	중동지역 (Fujairah참고)	부산 기장
TDS (mg/L)	44,500 내외	40,000	35,000 이하
수온 (°C)	14~36	33	10~25
보론 (mg/L)	5.5	5.5 내외	4.6
적조	심각	심각	10년내에 없음
플랜트 에너지소모율 (kWh/m ³)	-	4.8	3.7

- (온도증가) 투과율의 증대로 인하여 플럭스는 상대적으로 증가하나 수질저하가 예상됨. 더욱이 중동지역의 고염도로부터 추정할 경우 수질기준에 대한 문제 발생소지가 있음
- (염도증가) 생산수량의 확보를 위한 고압이 필요하며, 이는 곧 전력비 상승의 의미함. 따라서 국내에 비해 높은 에너지 소모량이 예상됨.
- (적조발생빈도) 더운 기후의 특성으로 인하여 적조발생빈도가 국내에 비해 높을 것으로 추정됨. 따라서 전처리 공정의 계통이 변화될 것으로 추정
- (유지관리) 높은 염도에 따른 역삼투막의 스케일 발생 및 바이오파울링등 국내에서의 O&M 경험과는 전혀 다른 양상으로 운영될 것으로 예상되며, 또한 적조 등에 대한 경험 부족으로 어려움이 있을 것으로 예측됨
- (연구개발 전략) 현지에서 직접 설계/시공/운영을 통하여 경험을 축적함으로써 중동지역의 수질 환경에 대하여 적절한 대처능력을 확보

- (운전경험을 토대로한 상업화 스케일의 F/S 연구) 연구개발 이후 성능을 토대로 100,000 m³/d 이상의 실규모 플랜트를 가상으로 FS 연구를 실시함으로써 향후 중동지역에 대한 경제성 확보 전략 수립

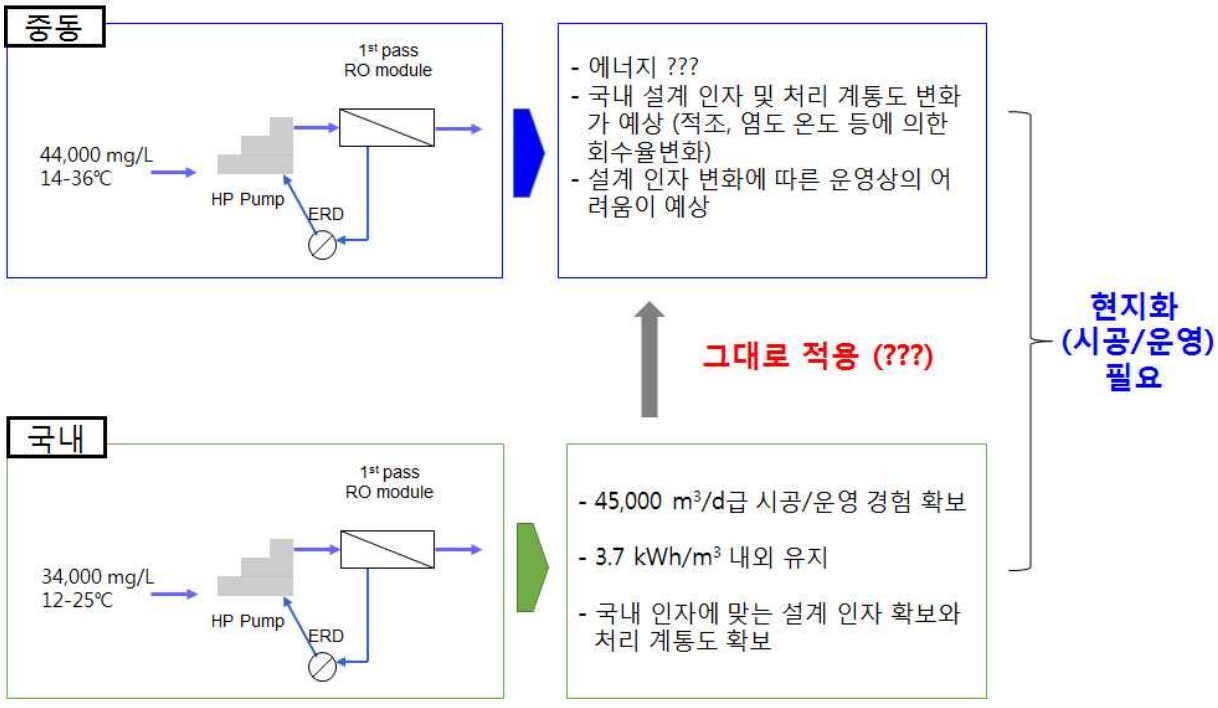


그림 81. 현지화를 위한 시공/운영의 필요성

2절 중동지역 시장 진입을 위한 기술 전략

1. 중동지역 수질특성 분석

- 그림 82는 중동지역의 Ras Al-Khair 해수담수화플랜트 설계를 위해 직접 적용되었던 설계 인자들로 앞서 기술한 바와 같이 염도 증가에 따른 전력비 상승과 수질악화 부분이 예상됨
- Ras Al-Khair 지역은 현재 목표가 되고 있는 UAE의 아부다비 시에서부터 약 960 km 떨어진 지역에 위치함. USE의 마스다 기관에서 요구하는 설계 수치는 42,000 mg/L, 온도 30°C 기준이며, 이러한 것을 고려할 때 그림 83에 나타난 수질은 중동지역을 대표하는

것으로 사료될 수 있음

- 보론 농도가 5.5 mg/L로 분석되어 국내에서 적용된 수치에 비해 높게 분석되었음. 실제 역삼투막에 의한 보론제거율은 중성 범위에서 높지 않기 때문에 2nd pass의 기수담수화 공정에 의해 추가 제거가 요구됨.
- 중동지역의 염도를 고려할 경우 일반적인 재래식 설계로 구성될 경우 국내 기장 플랜트에 비해서 1 kWh/m³ 이상까지 증가할 수도 있을 것으로 사료됨. 따라서 전력 소모율을 감소시킬 수 있는 방안을 고려해야 함.

No.	Item	Unit	Value	Design		Remark
				Nor.	Max.	
1	Hydrocarbon	mg/l	-			-
2	Total Organic carbon	mg/l	10.00			< 4
3	Chlorophyll	mg/m ³				-
4	Temperature	C°	24-30			28.60
5	pH @ 25 C°		8.30			8.30
6	Turbidity	NTU	1.50			1.50
7	TSS	mg/l	5-80			<8
8	Chloride	mg/l	24,405.00			23,236.17
9	Sodium	mg/l	13,500.00			12,853.44
10	Sulfate	mg/l	3,400.00			3,237.16
11	Calcium	mg/l	500.00			476.05
12	Boron	mg/l	5.50			5.24
13	Manganese	mg/l	-			-
14	Magnesium	mg/l	1,650.00			1,570.98
15	Copper	mg/l	-			-
16	Iron	mg/l	0.10			0.10
17	Potassium	mg/l	480.00			457.01
18	Strontium	mg/l	-			0.04
19	Barium	mg/l	-			0.04
20	Aluminum (Total & Dissolved	mg/l	-			-
21	Bicarbonate	mg/l	170.00			161.86
22	Nitrate	mg/l	-			-
23	Fluoride	mg/l	1.20			1.14
24	Phosphate	mg/l	-			-
25	Silica	mg/l	0.40			0.38
26	TDS	mg/l	44,113			42,000



아부다비에서 960km (약 8시간거리)



유추하기에 충분

그림 82. Ras Al-Khair 지역 플랜트를 위한 수질분석 결과

- 그림 83은 UAE 생산수 수질기준을 나타낸 것으로 일반적으로 TDS 농도 100-1,000 mg/L, 보론 농도 2.4 mg/L 이하로 조사됨

Item	Parameter	Unit of measurement	Concentration or value (maximum unless otherwise stated)
1	Colour	mg/l pt/Co scale	15.0
2	Turbidity (including suspended solids)	NTU (Nephelometric Turbidity Unit)	4.0
3	Odour (including hydrogen sulphide)	Dilution number	Unobjectionable
4	Taste	Dilution number	Unobjectionable
5	Total dissolved solids (TDS) (l) *	mg/l	100 (minimum) 1,000 (maximum)
6	Calcium hardness *	mg/l as CaCO ₃	200 at 25 °C
7	Total hardness *	mg/l as CaCO ₃	300 at 25 °C
8	Langelier saturation index	Value shall be slightly positive at all times	0.0 (minimum) 0.5 (maximum)
9	Hydrogen ion	pH value	7.0 (minimum) 9.2 (maximum)
10	Residual chlorine (l)	mg/l Cl ₂	0.2 (minimum) 0.5 (maximum)

Item	Parameters	Unit of measurement	Concentration or value (maximum unless otherwise stated)
1	Arsenic	μ As g/l	10.0
2	Cadmium	μ Cd g/l	3.0
3	Chromium	μ Cr g/l	50.0
4	Mercury	μ Hg g/l	6.0
5	Nickel	μ Ni g/l	70.0
6	Lead	μ Pb g/l	10.0
7	Antimony	μ Sb g/l	20.0
8	Selenium	μ Se g/l	40.0
9	Barium	μ Ba g/l	700.0
10	Boron	μ B g/l	2,400.0
11	Manganese	μ Mn g/l	400.0
12	Fluoride	μ F g/l	1,500.0

그림 83. UAE 지역의 해수담수화 플랜트 수질기준

- WHO는 2009년부터 보론 농도의 위해성을 평가한 결과 보론 농도의 가이드라인을 0.5 mg/L에서 2.4 mg/L로 2011년 완화한 바 있음. UAE는 WHO의 수질기준에 따라 0.5 mg/L에서 2.4 mg/L로 완화한 것으로 사료됨.
- 보론 농도 수질기준의 완화는 상대적으로 2nd Pass의 중요성을 감소시키는 결과이며, 또한 1st pass에서도 역삼투막의 염 제거율 면에 있어서도 마찬가지로의 결과를 가져옴
- 따라서 본 연구에서 고프럭스 막에 대한 적용가능성이 높아지는 결과임
- 단 중동지역의 수질 온도가 높기 때문에 보론외에 생산수내 TDS의 농도가 높아지는 결과가 나타날 수 있을 것으로 사료됨

○ 그림 84는 현재 국내 유일한 L사의 역삼투막을 활용하여 그림 85의 수질을 적용하여 고프럭스 막의 적용가능성을 확인한 것임

- 총 3개의 역삼투막을 적용함.
- 역삼투막 1 : 6,600 GPD, 염제거율 99.85%, 보론제거율 93%
- 역삼투막 2 : ,8250 GPD, 염제거율 99.85%, 보론제거율 93%
- 역삼투막 3 : 9,900 GPD, 염제거율 99.85%, 보론제거율 93%
- 같은 염제거율/보론 제거율의 역삼투막간의 비교결과, 고프럭스 막으로 갈수록 생산수내 보론과 염농도가 증가하는 결과를 보였으며, 특히 온도 36°C에서는 보론 농도가 1 mg/L 이상을 나타내었음.
- 저프럭스 막은 에너지 소모율면에서 비교적 높은 결과를 보이고 있음.

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 63.02 m³/h Average Flux: 13.32 m³/h Temperature: 14.00 °C
 RO Feed Flow: 189.52 m³/h Water Source: Seawater Wt (20%): Average NDP: 25.85 bar
 Concentrate Flow: 113.72 m³/h Feed TDS: 43,000 ppm Specific Energy: 2.49 kWh/m³
 Recovery: 42.02% Osmotic Pressure Feed: 32.15 bar Feed Pressure: 70.21 bar
 Number Of Elements: 134 Osmotic Pressure Concentrate: 51.92 bar Permeate TDS: 98.19 ppm
 ERD Type: Isobars Exchanger Pump Efficiency: 85.00% Fouling Factor: 1

# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Feed Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS	
		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	bar	bar	bar	bar	bar	m ³ /h	ppm	
Stage 1	22	7	189.52	43.75	116.78	70.21	89.94	1.86	0.00	0.00	13.32	98.19

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	AD Feed	Concentrate	Permeate
	Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	12,677	13,290	23,260	20.71
Potassium	407.01	475.21	877.84	1.48
Magnesium	1,571	1,824	3,814	0.89
Calcium	476.26	495.01	892.91	0.23
Strontium	0.00	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	1.14	1.19	2.04	0.20
Chloride	13,206	24,124	41,329	58.89
Sulfate	3,227	3,366	5,886	0.42
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	6.52	6.77	11.67	0.01
Bicarbonate	104.00	100.54	276.27	0.00
Boron	5.24	5.45	8.70	0.40
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.26	0.40	0.68	0.00
TDS	41,967	43,608	76,162	98.19
pH	8.00	8.00	8.00	7.21

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 63.02 m³/h Average Flux: 13.32 m³/h Temperature: 36.00 °C
 RO Feed Flow: 189.52 m³/h Water Source: Seawater Wt (20%): Average NDP: 13.28 bar
 Concentrate Flow: 119.72 m³/h Feed TDS: 43,000 ppm Specific Energy: 2.20 kWh/m³
 Recovery: 42.02% Osmotic Pressure Feed: 22.47 bar Feed Pressure: 61.77 bar
 Number Of Elements: 134 Osmotic Pressure Concentrate: 33.81 bar Permeate TDS: 247.57 ppm
 ERD Type: Isobars Exchanger Pump Efficiency: 85.00% Fouling Factor: 1

# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Feed Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS	
		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	bar	bar	bar	bar	bar	m ³ /h	ppm	
Stage 1	22	7	189.52	63.62	116.71	61.77	80.38	1.26	0.00	0.00	13.32	247.57

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	AD Feed	Concentrate	Permeate
	Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	12,676	13,292	23,000	126.29
Potassium	407.01	475.21	871.62	0.21
Magnesium	1,571	1,824	3,814	0.48
Calcium	476.26	495.01	892.79	1.03
Strontium	0.00	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	1.14	1.19	2.03	0.21
Chloride	23,187	24,121	41,140	206.79
Sulfate	3,227	3,366	5,802	2.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	10.60	11.03	18.88	0.01
Bicarbonate	100.00	106.88	268.01	1.81
Boron	5.24	5.45	8.57	0.92
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.26	0.40	0.68	0.21
TDS	41,966	43,608	76,005	247.57
pH	8.00	8.00	8.00	7.21

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed Flow	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Perm Sal
			m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	%	bar	bar		ppm	ppm
1	1	LO SW 440 SR	9.07	0.88	21.50	9.68	0.20	34.87	1.12	43,659	48.3
1	2	LO SW 440 SR	8.19	0.75	18.28	9.11	0.26	31.23	1.11	48,332	62.4
1	3	LO SW 440 SR	7.45	0.62	15.30	8.39	0.23	27.68	1.10	53,166	80.3
1	4	LO SW 440 SR	6.82	0.52	12.64	7.56	0.20	24.31	1.09	58,029	105.0
1	5	LO SW 440 SR	6.31	0.42	10.24	6.69	0.18	21.19	1.08	62,789	136.0
1	6	LO SW 440 SR	5.88	0.34	8.40	5.83	0.16	18.35	1.07	67,281	177.0
1	7	LO SW 440 SR	5.54	0.28	6.80	5.01	0.15	15.83	1.06	71,412	229.0

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	1.23	2.01
CaSO ₄	27.52 %	55.91 %
SiO ₂	0.00 %	0.00 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	19.22 %	106.69 %
SiO ₂	0.28 %	0.49 %
Soft Davis Index	-0.36	0.49

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

SiO₂ greater than 0.

CaF₂ null 100%.

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed Flow	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Perm Sal
			m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	%	bar	bar		ppm	ppm
1	1	LO SW 440 SR	9.07	1.17	26.77	12.95	0.20	23.61	1.12	43,658	126
1	2	LO SW 440 SR	7.89	0.86	21.30	10.91	0.25	18.01	1.10	38,132	194
1	3	LO SW 440 SR	7.03	0.62	15.17	8.80	0.21	14.58	1.08	36,249	293
1	4	LO SW 440 SR	6.41	0.44	10.62	6.88	0.19	10.89	1.06	31,650	428
1	5	LO SW 440 SR	5.87	0.32	7.74	5.29	0.18	8.39	1.05	26,175	641
1	6	LO SW 440 SR	5.46	0.23	5.80	4.04	0.15	6.47	1.03	20,824	915
1	7	LO SW 440 SR	5.13	0.17	4.13	3.11	0.14	5.04	1.03	15,728	1,2

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	1.08	2.38
CaSO ₄	27.81 %	55.93 %
SiO ₂	0.00 %	0.00 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	18.90 %	105.96 %
SiO ₂	0.28 %	0.34 %
Soft Davis Index	-0.08	0.77

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

SiO₂ greater than 0.

CaF₂ null 100%.

그림 84. Ras Al-Khair 수질에 대한 L사 역삼투막 Projection 결과 1
 (위 : 14°C, 아래 : 36°C)
 (6600 GPD, 염제거율 99.85 %, 보론 제거율 93%)

System :

Permeate Flow: 8100 GPD	Average Flux: 11.02 GPD	Temperature: 14.2 °C
Feed Flow: 1810 GPD	Water Source: Seawater	Average NDF: 18.00 bar
Concentrate Flow: 1230 GPD	Feed TDS: 40,000 ppm	Specific Energy: 2.20 kWh/m ³
Recovery: 92.5%	Density Pressure Corc.: 0.00 bar	Feed Pressure: 0.00 bar
Number of Elements: 100	Density Pressure Corc.: 22.0 bar	Permeate TDS: 100.70 ppm
ERD Type: Inlet Exchange	Pump Efficiency: 89.9%	Fouling Factor: 1.00

Stage	# of Vessels	No. Of Elements	Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	Feed Pressure	Calc. Pressure	Vessel Pressure Drop	Pump Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	Bar	Bar	Bar	Bar	lmh	ppm
1	22	7	188.52	43.63	119.63	41.02	41.76	1.46	0	13.59	100.71

Water Analysis :

Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 2
Ammonium	0	0	0	0
Sodium	12,877	13,343	22,879	44.14
Potassium	407	475.55	815.38	1.86
Magnesium	1,571	1,808	3,807	1.21
Calcium	476.34	483.27	850.45	0.37
Bromine	0	0	0	0
Iodine	0	0	0	0
Fluoride	1.74	1.78	2.03	0.21
Chloride	22,229	24,041	41,408	73.43
Sulfate	3,237	3,304	5,784	1.00
Nitrate	0	0	0	0
Bromide	0	0	0	0
Carbonate	8.46	8.79	11.71	0
Bicarbonate	153.13	158.58	273.03	3.85
Barium	5.24	5.43	8.84	0.04
TDS	41,384	43,334	74,488	123.71
pH	8.3	8.3	8.28	7.21

Within Vessels :

Stage	Element Position	Element Type	Feed Flow	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed	Permeate
			m ³ /h	m ³ /h	lmh	%	Bar	Bar		ppm	ppm
1	1	LG SW440GR	9.07	0.9	22.02	9.91	0.3	26.24	1.13	43,393	59.07
1	2	LG SW440GR	8.17	0.77	18.79	9.38	0.26	22.34	1.13	44,285	76
1	3	LG SW440GR	7.4	0.64	16.64	8.82	0.23	18.65	1.11	13,276	99.11
1	4	LG SW440GR	6.77	0.52	12.79	7.88	0.2	15.18	1.1	59,295	135.84
1	5	LG SW440GR	6.25	0.41	10.14	8.83	0.17	12.09	1.08	43,139	174.38
1	6	LG SW440GR	5.83	0.32	7.83	8.55	0.16	9.45	1.07	47,606	234.05
1	7	LG SW440GR	5.51	0.25	6.7	4.92	0.14	7.28	1.05	71,583	315.72

Solubility Calculations

Solubility Calculations		
	Feed	Concentrate
LMH	1.22	2
CaSO ₄	27.39%	53.68%
MgSO ₄	0%	0%
Na ₂ SO ₄	0%	0%
CaF ₂	19.02%	107.29%
SIHF Davis Index	0.57	0.48

Warnings :

Design Warnings :

None

Stability Warnings :

- LMH greater than 0.
- SIHF greater than 0.
- CaF₂ greater than 100%.

System :

Permeate Flow: 8100 GPD	Average Flux: 11.02 GPD	Temperature: 16.2 °C
Feed Flow: 1810 GPD	Water Source: Seawater	Average NDF: 18.00 bar
Concentrate Flow: 1150 GPD	Feed TDS: 40,000 ppm	Specific Energy: 2.13 kWh/m ³
Recovery: 91.5%	Density Pressure Corc.: 0.00 bar	Feed Pressure: 0.00 bar
Number of Elements: 100	Density Pressure Corc.: 22.0 bar	Permeate TDS: 100.81 ppm
ERD Type: Inlet Exchange	Pump Efficiency: 89.9%	Fouling Factor: 1.00

Stage	# of Vessels	No. Of Elements	Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	Feed Pressure	Calc. Pressure	Vessel Pressure Drop	Pump Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	Bar	Bar	Bar	Bar	lmh	ppm
1	22	7	188.52	43.62	115.7	38.83	37.57	1.26	0	13.59	100.81

Water Analysis :

Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 2
Ammonium	0	0	0	0
Sodium	12,879	13,344	22,886	157.2
Potassium	407.04	475.59	811.89	6.52
Magnesium	1,571	1,808	3,804	4.38
Calcium	476.38	483.32	849.7	1.29
Bromine	0	0	0	0
Iodine	0	0	0	0
Fluoride	1.74	1.78	2.02	0.02
Chloride	22,198	24,036	41,261	239.26
Sulfate	3,237	3,304	5,791	3.42
Nitrate	0	0	0	0
Bromide	0	0	0	0
Carbonate	10.52	11.05	19.34	0.01
Bicarbonate	159.67	162.67	260.08	2.24
Barium	5.24	5.43	8.57	1.1
TDS	41,384	43,334	74,488	435.43
pH	8.3	8.3	8.3	7.21

Within Vessels :

Stage	Element Position	Element Type	Feed Flow	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed	Permeate
			m ³ /h	m ³ /h	lmh	%	Bar	Bar		ppm	ppm
1	1	LG SW440GR	9.07	1.29	31.64	14.24	0.3	17.61	1.15	43,504	146.84
1	2	LG SW440GR	7.79	0.82	22.48	11.8	0.24	12.52	1.12	50,705	233.45
1	3	LG SW440GR	6.86	0.62	19.25	9.08	0.2	8.49	1.09	57,461	372.13
1	4	LG SW440GR	6.24	0.41	10.02	6.07	0.17	5.58	1.06	43,159	546.23
1	5	LG SW440GR	5.83	0.27	6.54	4.58	0.16	3.64	1.04	47,555	648.46
1	6	LG SW440GR	5.56	0.19	4.85	3.19	0.15	2.43	1.03	70,793	1,405
1	7	LG SW440GR	5.38	0.12	3.83	2.3	0.14	1.69	1.01	73,838	2,705

Solubility Calculations

Solubility Calculations		
	Feed	Concentrate
LMH	1.37	2.03
CaSO ₄	27.39%	53.68%
MgSO ₄	0%	0%
Na ₂ SO ₄	0%	0%
CaF ₂	18.7%	104.34%
SIHF Davis Index	0.68	0.76

Warnings :

Design Warnings :

None

Stability Warnings :

- LMH greater than 0.
- SIHF greater than 0.
- CaF₂ greater than 100%.

그림 85. Ras Al-Khair 수질에 대한 L사 역삼투막 Projection 결과 2
(위 : 14°C, 아래 : 36°C)
(8250 GPD, 염제거율 99.85 %, 보론 제거율 93%)

System :

Permeate Flow : 88.81 m ³ /h	Average Flux : 12.02 m ³ /h	Temperature : 14.0 C
Feed Flow : 189.52 m ³ /h	Water Source : Seawater-Ind	Average NCP : 14.52 Bar
Concentrate Flow : 115.71 m ³ /h	Feed TDS : 45,934 ppm	Specific Energy : 2.03 kWh/m ³
Recovery : 47.0%	Osmotic Pressure Feed : 32.88 Bar	Feed Pressure : 60.85 Bar
Number of Elements : 184.0	Osmotic Pressure Conc. : 52.15 Bar	Permeate TDS : 149.37 ppm
ERO Type : Induct Exchange	Pump Efficiency : 85.0%	Fouling Factor : 1.00

Stage	# of Vessels	No. Of Elements	Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	Feed Pressure	Conc. Pressure	Vessel Pressure Drop	Pump Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	Bar	Bar	Bar	Bar	l/m ²	ppm
1	22	7	189.52	88.81	115.71	60.85	59.42	1.43	0	12.02	149.37

Water Analysis :

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0	0	0	0	0	0
Sodium	12,877	13,343	22,968	53.78		
Potassium	457	473.55	814.91	2.23		
Magnesium	1,571	1,628	2,806	1.49		
Calcium	476.04	493.37	850.23	0.44		
Strontium	0	0	0	0		
Barium	0	0	0	0		
Fluoride	1.14	1.19	2.03	0.01		
Chloride	23,201	24,041	41,389	88.7		
Sulfate	3,237	3,354	5,789	1.54		
Nitrate	0	0	0	0		
Bromide	0	0	0	0		
Carbonate	8.48	8.79	11.71	0		
Bicarbonate	153.13	158.59	272.88	0.79		
Boron	5.24	5.43	8.87	0.68		
TDS	41,885	43,505	74,906	149.37		
pH	8.3	8.3	8.29	7.21		

System :

Permeate Flow : 88.81 m ³ /h	Average Flux : 12.02 m ³ /h	Temperature : 36.0 C
Feed Flow : 189.52 m ³ /h	Water Source : Seawater-Ind	Average NCP : 19.94
Concentrate Flow : 115.71 m ³ /h	Feed TDS : 45,934 ppm	Specific Energy : 2.03 kWh/m ³
Recovery : 47.0%	Osmotic Pressure Feed : 32.88 Bar	Feed Pressure : 57.96 Bar
Number of Elements : 184.0	Osmotic Pressure Conc. : 57.87 Bar	Permeate TDS : 158.81 ppm
ERO Type : Induct Exchange	Pump Efficiency : 85.0%	Fouling Factor : 1.00

Stage	# of Vessels	No. Of Elements	Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	Feed Pressure	Conc. Pressure	Vessel Pressure Drop	Pump Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	Bar	Bar	Bar	Bar	l/m ²	ppm
1	22	7	189.52	88.81	115.67	57.96	56.63	1.34	0	12.34	158.83

Water Analysis :

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0	0	0	0	0	0
Sodium	12,878	13,344	22,969	186.50		
Potassium	457.04	473.59	811.32	7.75		
Magnesium	1,571	1,628	2,805	3.17		
Calcium	476.08	493.32	849.88	1.53		
Strontium	0	0	0	0		
Barium	0	0	0	0		
Fluoride	1.14	1.19	2.02	0.02		
Chloride	23,198	24,038	41,242	207.65		
Sulfate	3,237	3,354	5,782	4.3		
Nitrate	0	0	0	0		
Bromide	0	0	0	0		
Carbonate	10.52	11.08	16.04	0.02		
Bicarbonate	143.41	154.67	264.89	2.60		
Boron	5.24	5.43	8.5	1.19		
TDS	41,888	43,504	74,688	316.83		
pH	8.3	8.3	8.3	7.21		

Within Vessels :

Stage	Element Position	Element Type	Feed Flow	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Hot Driving Pressure	Polarization	Feed	Permeate
			m ³ /h	m ³ /h	l/m ²	%	Bar	Bar		ppm	ppm
1	1	LD SW 440 R	8.87	0.67	23.67	10.63	0.3	23.37	1.15	43,505	68.71
1	2	LD SW 440 R	8.1	0.9	19.08	8.87	0.25	19.33	1.13	48,885	68.73
1	3	LD SW 440 R	7.3	0.64	15.76	8.81	0.22	15.56	1.12	54,265	119.77
1	4	LD SW 440 R	6.66	0.5	12.56	7.58	0.19	12.2	1.1	59,719	163.47
1	5	LD SW 440 R	6.16	0.39	9.49	4.29	0.17	9.36	1.08	65,251	224.98
1	6	LD SW 440 R	5.77	0.29	7.14	5.08	0.16	7.03	1.06	68,334	311.29
1	7	LD SW 440 R	5.49	0.22	5.31	3.98	0.14	5.23	1.05	71,937	427.64

Solubility Calculations

Solubility Calculations		
	Feed	Concentrate
LiCl	1.22	3
CaCO ₃	27.39%	55.61%
SiO ₂	0%	0%
BaSO ₄	0%	0%
CaF ₂	19.02%	187.2%
SDI Devs Index	0.37	0.49

Warnings :

Design Warnings :

None

Stability Warnings :

- LDI greater than 0
- SDI greater than 5
- CaF₂ greater than 100%

Within Vessels :

Stage	Element Position	Element Type	Feed Flow	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Hot Driving Pressure	Polarization	Feed	Permeate
			m ³ /h	m ³ /h	l/m ²	%	Bar	Bar		ppm	ppm
1	1	LD SW 440 R	9.67	1.4	34.26	15.46	0.3	16.83	1.17	43,504	147.22
1	2	LD SW 440 R	7.87	0.94	25.81	12.25	0.23	16.41	1.13	37,430	279.92
1	3	LD SW 440 R	6.73	0.8	18.68	8.82	0.19	6.77	1.09	38,373	479.78
1	4	LD SW 440 R	6.13	0.57	9.17	6.11	0.17	6.23	1.08	44,280	788.64
1	5	LD SW 440 R	5.75	0.24	5.78	4.1	0.15	2.66	1.04	48,390	1,288
1	6	LD SW 440 R	5.52	0.16	3.82	3.82	0.15	1.76	1.03	51,759	1,984
1	7	LD SW 440 R	5.36	0.1	2.94	2.15	0.14	1.12	1.02	73,376	2,712

Solubility Calculations

Solubility Calculations		
	Feed	Concentrate
LiCl	1.57	3.38
CaCO ₃	27.39%	55.69%
SiO ₂	0%	0%
BaSO ₄	0%	0%
CaF ₂	18.7%	188.34%
SDI Devs Index	0.68	0.78

Warnings :

Design Warnings :

None

Stability Warnings :

- LDI greater than 0
- SDI greater than 5
- CaF₂ greater than 100%

그림 86. Ras Al-Khair 수질에 대한 L사 역삼투막 Projection 결과 3
(위 : 14°C, 아래 : 36°C)
(9900 GPD, 염제거율 99.85 %, 보론 제거율 93%)

2. 중동지역 특화형 기술개발 전략

가. 기술개발을 위한 핵심 Keyword

- 중동지역 진출을 위한 “세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트 기술 개발”을 목표로 기술개발 추진
- 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화 플랜트 기술 개발을 위한 4가지 키워드는 ‘**고효율 해수담수화 요소기술 개발**’, ‘**신재생에너지 융합 기술개발**’, ‘**저에너지 해수담수화플랜트 설계 및 시공기술 개발**’, ‘**중동지역 맞춤형 운영 최적화 기술개발**’로 구분
- 이를 통해 주요 기술 수요국인 중동지역 맞춤형 저에너지 플랜트 요소기술 및 신재생에너지 활용 플랜트 기술을 개발하여 중동 현지에 파일럿 플랜트를 건설하고 성능을 검증함으로써, 국내 해수담수화플랜트 건설 및 운영 기술의 경쟁력 확보와 중동 지역 시장 진입을 달성

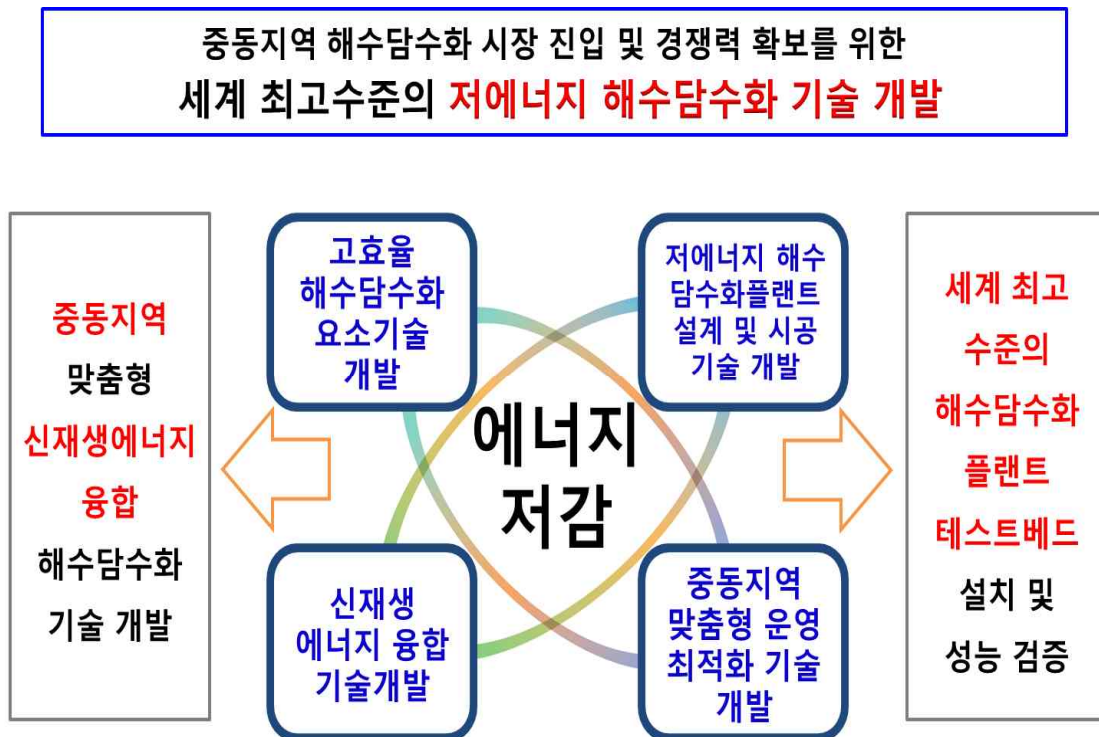


그림 87. 중동지역 특화형 저에너지 해수담수화 기술 개발 전략

나. 기술개발 목표 설정

- 그림 88은 마스다르에서 요구하는 에너지 사용량 목표치를 나타내는 것으로 역삼투 기반의 기술일 경우 3.6 kWh/m^3 이하이며, 막 기반의 신공정일 경우 3.1 kWh/m^3 이하를 요구하고 있음.

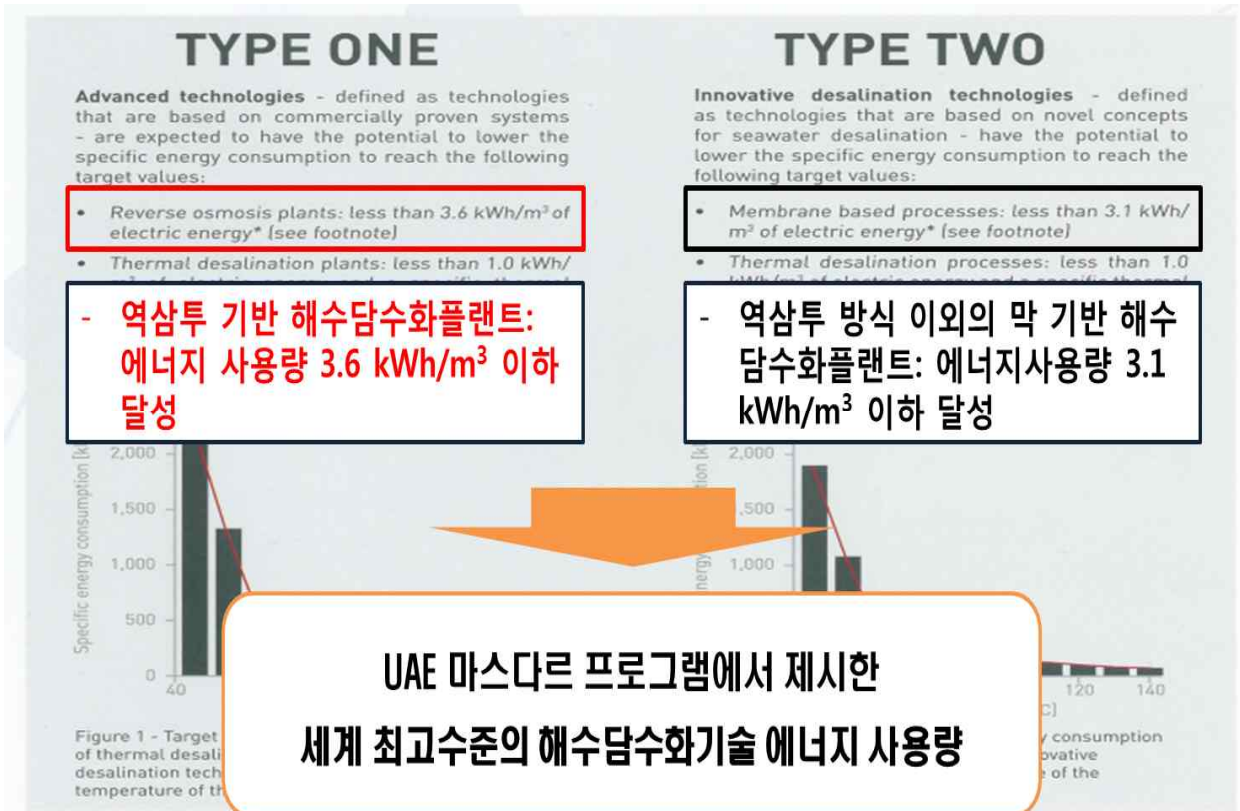


그림 88. 마스다르 프로그램에서 제시한 에너지 사용량 목표치

- UAE 마스다르 프로그램에 따라서 현재 4개사가 기술개발을 실시하고 있음 (그림 89)
 - (비올리아) 일반적인 역삼투막을 기반으로 저에너지를 목표로 연구개발함. 현재 $300 \text{ m}^3/\text{d}$ 규모의 파일럿 플랜트를 통하여 약 3.35 kWh/m^3 달성
 - (수에즈-데그라몽) 농축수 처리를 위하여 이온교환 공정을 개발하였으며, $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 규모의 플랜트를 운영중에 있음
 - (아벤고아) 국내에서 연구중인 MD-PRO 연구단과 유사한 컨셉인 RO처리 후 농축수를 MD로 처리하여 회수율을 높이는 연구를 수행. 역삼투공정은 $1,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 규모로 운영중이며, MD공정은 $80 \text{ m}^3/\text{d}$ 규모로 운영중임

- (트레비 시스템) FO 단독 공정을 50 m³/d 규모로 운영중에 있음

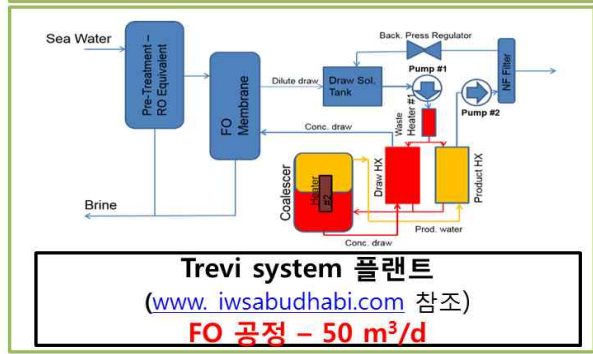
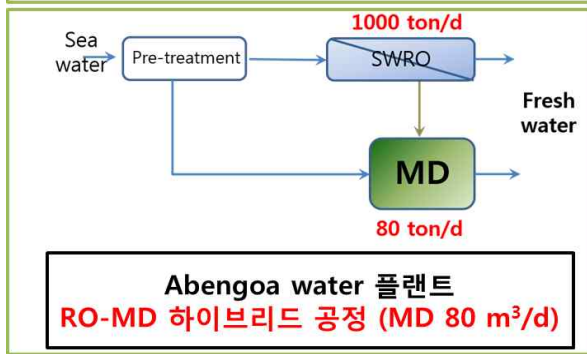


그림 89. UAE 기술 검증 프로그램 적용 회사 및 공정

○ 최고수준의 에너지 소모율 플랜트 분석

- (칼스바드 플랜트) 미국의 칼스바드 플랜트는 비교적 최근에 건설되었으며, IDE사의 중앙집중식 플랜트 설계 발식이 적용되어있음.
- (설계조건) 총 50 MGD규모의 플랜트로 유입수 33,500 mg/L 온도 20 °C내외
- 총 설계시 예상되는 에너지 소모율은 3.56 kWh/m³이었음



그림 90. UAE 기술 검증 프로그램 적용 회사 및 공정

- (중동지역 유사 수질플랜트) 그림 91에서 볼 수 있는 것처럼 40,000 mg/L 이상의 조건에서 트레인에 소요되는 에너지 소모율은 약 3-3.5 kWh/m³ 내외로 조사되었음

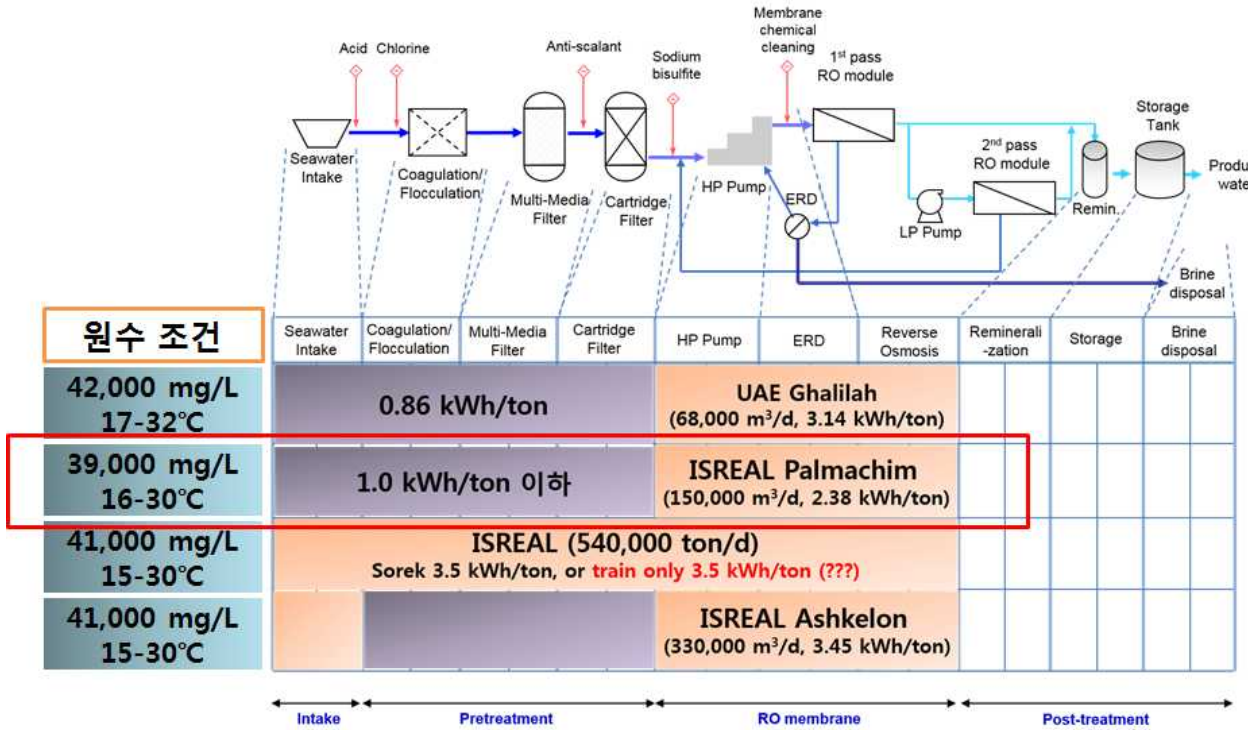


그림 91. UAE 수질기준과 유사한 플랜트의 에너지 소요량 분석

- (간투트 지역 비올리아 파일럿 플랜트) 300 m³/d 규모의 고효율 역삼투방식 플랜트에 대한 것으로 본 연구의 기획에서 추구하는 방향성과 일부 유사한 컨셉으로 운영중임
- (설계조건) 온도 14-36°C, 염농도 42,000 mg/L

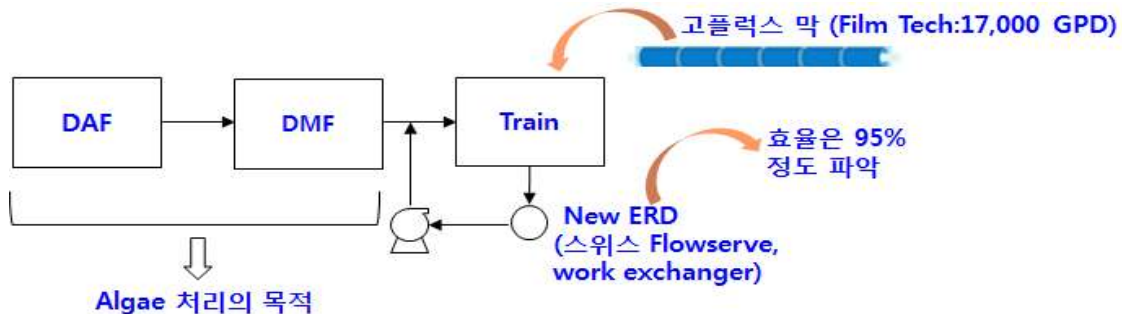


그림 92. UAE Ghantoot에 설치된 비올리아 파일럿 플랜트 공정

- (운전결과) 마스다르에서 요구하는 3.6 kWh/m^3 보다 **7% (3.35 kWh/m^3)**저감한 것으로 홍보함. 특히 42°C $52,000 \text{ mg/L}$ 의 극악한 조건에서도 운영이 가능.
- (고플렉스 막의 적용) 현존 최고의 고프렉스 막인 Dow filmtech의 SEAMAXX 역삼투막 적용을 통한 에너지 저감 (8인치 기준, 17,000 GPD, 제거율 99.47%, 보론제거율 89%)
- (재래식 전처리공정) DAF와 DMF의 조합을 통하여 최소한의 에너지소모 전처리 공정 적용
- (UAE의 수질기준) 상대적으로 낮은 수질 규제로 인한 생산수 수질 조절이 용이 ($1,000 \text{ mg/L}$, 보론 2.4 mg/L)
- 새로운 형태의 New ERD를 적용함. (스위스 Fowserve의 work exchanger 형태임, 효율 95% 이상)

○ 에너지소모율에 대한 연구목표

- UAE는 세계 3위의 해수담수화 시장의 국가로 세계 최고의 다국적기업이 경쟁 중에 있으며, 따라서 세계 최고 수준의 에너지 소모율을 목표로 기술개발을 실시함
- 조사된 결과에 따라 현재 중동에서 기술 검증 상황하에 있는 **비올리아 플랜트**의 3.35 kWh/m^3 를 목표로 추진
- 따라서 현존 최고 수준인 3.3 kWh/m^3 으로 추진 (모든 공정을 포함)

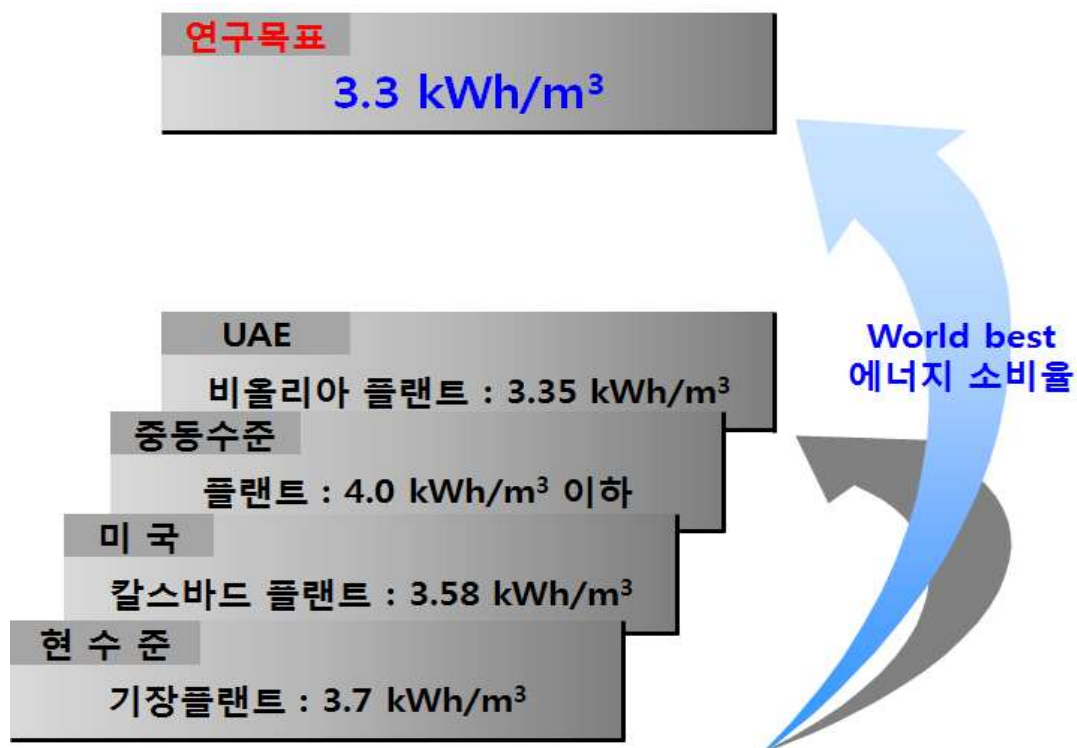


그림 93. World best 에너지 소모율에 대한 목표

3. 연구목표 달성을 위한 요소기술 도출

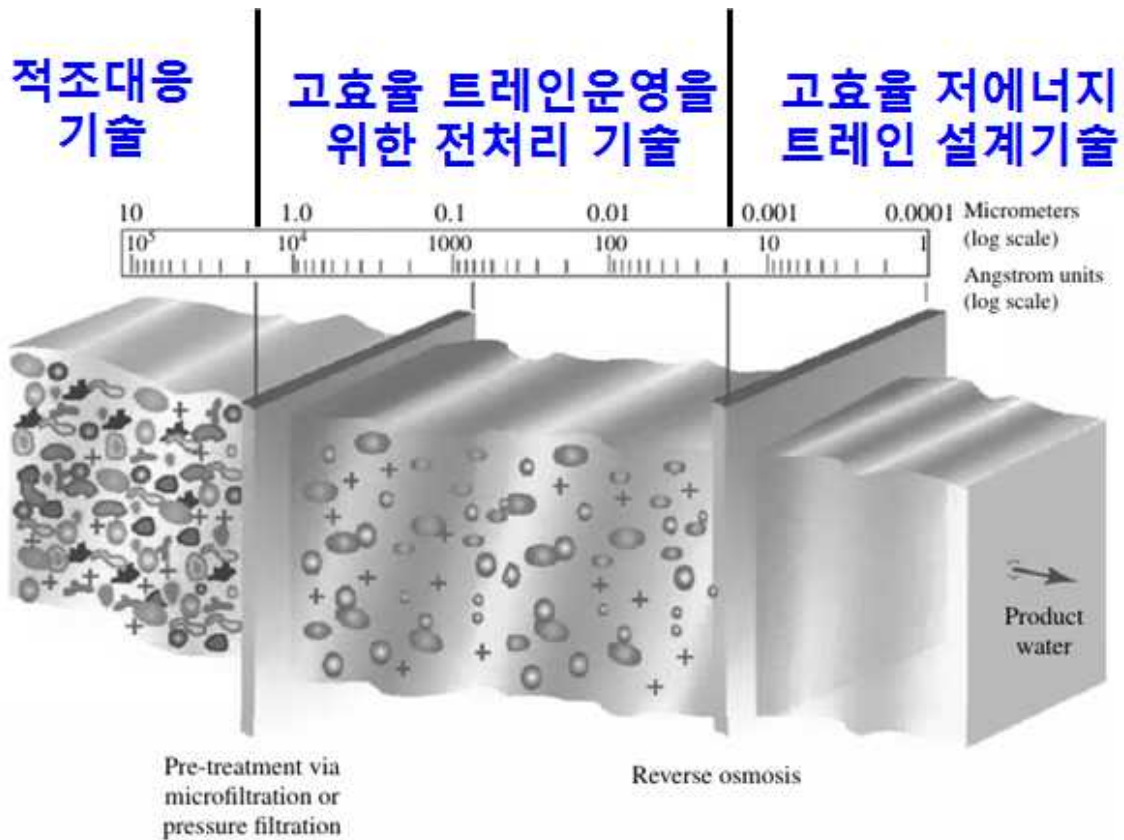


그림 94. 3.3 kWh/m³을 달성하기위한 요소기술 개발 전략

○ 총 3개의 영역으로 구분하여 요소기술을 개발

- (전전처리 영역) 적조 발생 및 해수내 기름 유출 등에 대한 대응기술로 현재의 DAF를 대체할 수 있는 기술을 개발하며, 아울러 DMF 수준의 에너지 소모량을 유지
- (전처리 영역) 아직까지 중동지역에서 UF 급 전처리는 적조 발생시 운영중단등의 문제점으로 인하여 많은 보급이 되지 않았으나, 향후에는 고효율 UF 전처리가 개발되어 점차 영역을 넓힐 것으로 예측이 되는 바, 본 연구에서는 적용가능성을 점검. 특히 현재의 UF 시장에서의 요구사항이 고프럭스와 경제성 확보 등의 2가지 컨셉으로 개발
- (트레인) 1st pass 설계를 통해 2nd pass에서 소모되는 불필요한 에너지와 건축비를 저감 하되 추가적인 처리를 위해 2nd pass 대체기술에 대하여 고려

가. 요소기술에 대한 컨셉

○ 트레인 설계기술

- 1st pass의 에너지 저감을 위해 고프럭스 막을 적용함으로써 에너지 소모율 저감
- 고효율 펌프 및 ERD를 적용을 통하여 효율성 증대
- 2nd pass의 생략을 통하여 건축비 및 에너지 비용을 동시에 저감

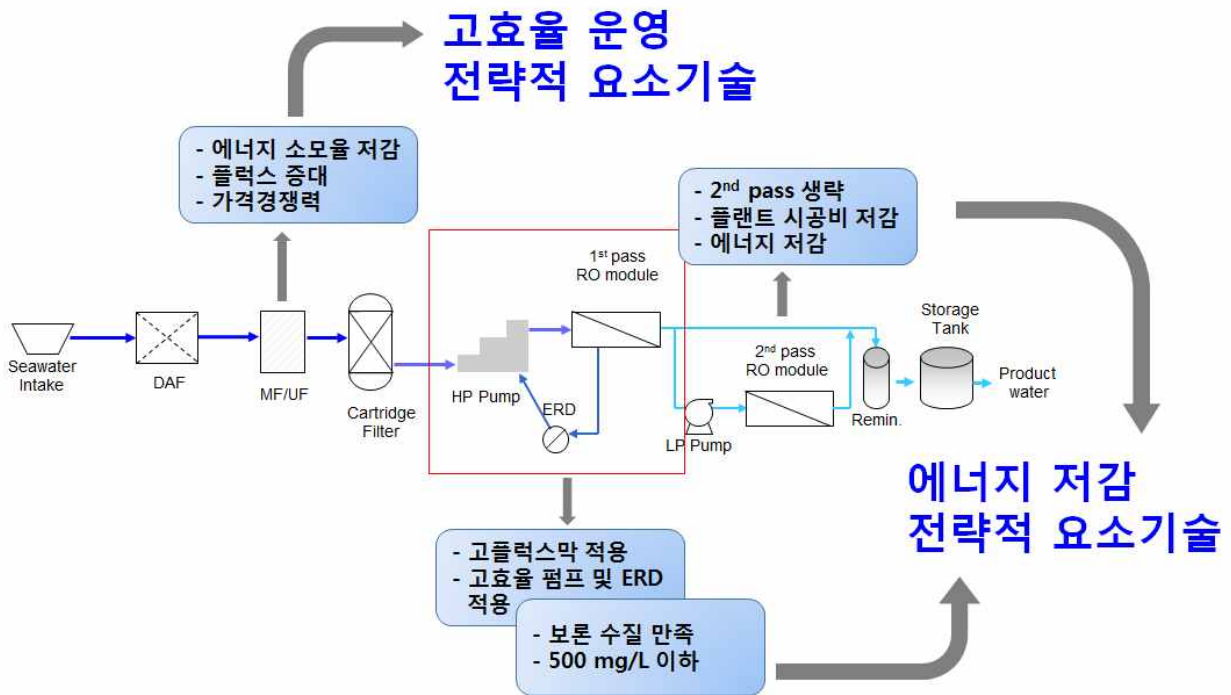


그림 95. 3.3 kWh/m³을 달성하기위한 요소기술 개발 전략

○ 고프럭스 역삼투막

- 1st pass의 에너지 저감을 위한 핵심 중요 부품개발로 분류됨
- 현재 고프럭스막의 투과성능을 유지하되, 같은 플럭스조건에서 보론제거율을 증대시킬 필요가 있음
- UAE 수질 조건에 요구되는 프로젝션 결과로부터 2.4 mg/L의 수질기준은 현 수준으로도 만족시킬 수 있을 것으로 생각되나, 향후 중동지역 전체와 유럽 등의 진출을 위해 강화된 보론 수질기준인 1 mg/L를 연구목표로 설정하여 개발 추진

○ MF/UF 막개발

- MF/UF 전처리 기술은 1st pass의 고효율 운영을 위해 필수적인 요소기술임. 국내에서 개

발된 MF/UF 전처리 막 기술은 플럭스를 기준으로 80 LMH 수준으로 세계수준에 비하여 73% 수준임

- 표 26에서처럼 에너지 저감을 위해 세계 최고수준보다 높은 플럭스의 UF를 개발하되 가격경쟁력 확보를 위해 PVDF 대체 소재 활용을 핵심으로 하여 개발
- 특히 막의 개발에서 한단계 업그레이드를 통하여 경제성 확보를 위한 모듈화와 스킴 개발까지 진행함으로 인하여 시스템화 할 수 있도록 전략 추진

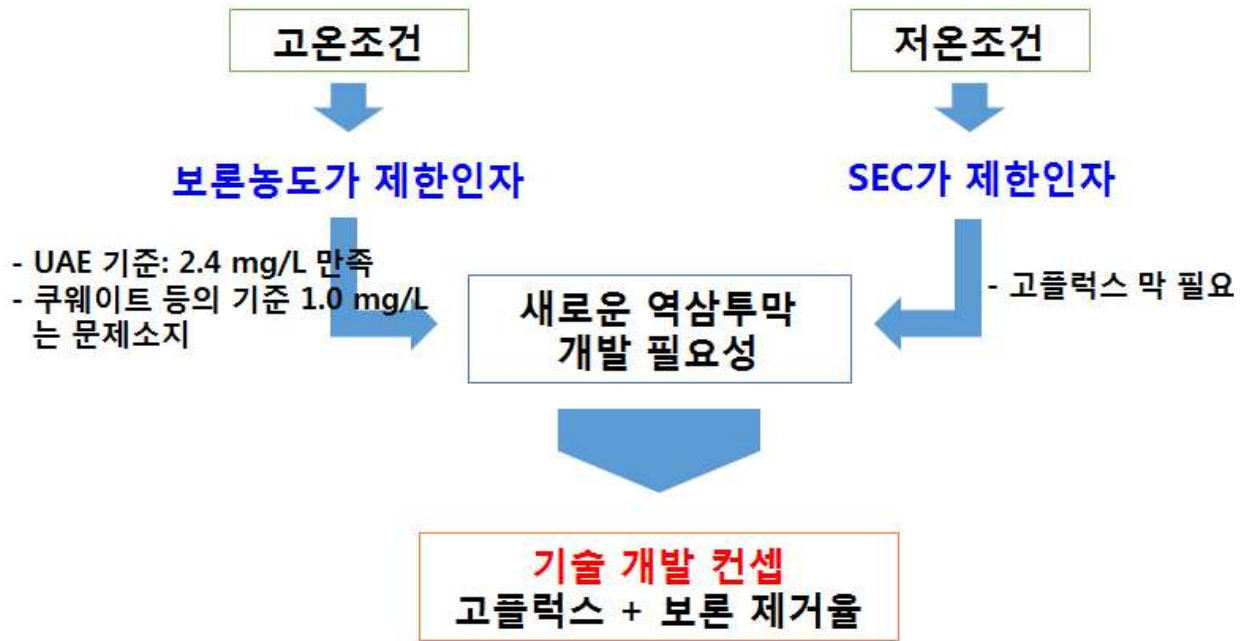


그림 96. 역삼투막 기술개발 전략

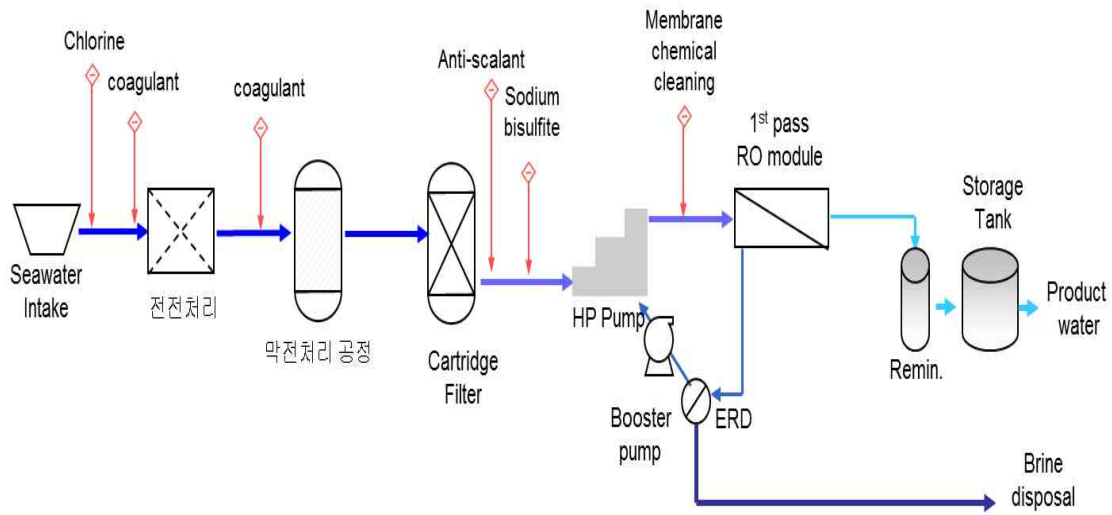
표 26. 세계 수준의 UF/MF 막의 성능

Maker		Asahi Kasei	Dow	Norit	Inge
Model		UNA-620	SFX-2880	Seaflex61	Dizzer XL 0.9MB 60W
Membrane Material	-	PVDF	PVDF	PES	PES
Pore Size	μm	0.1	0.04	0.02	0.02
Filtration Grade	-	MF	UF	UF	UF
Flow Pattern	-	Out-In	Out-In	In-Out	In-Out
Operating pH	-	1~11	2~11	2~12	3~10
Max Inlet Pressure	bar	3	3	4	5

Max Temperature	℃	40	40	40	40
Max Feed Turbidity	NTU	-	300	100	100
Membrane Area per Module	m ²	50	77	61	60
Max Flux (Seawater)	LMH	110	87	90	90

나. 연구개발 목표 달성을 위한 요소기술별 에너지 소요량 분석

- 본 연구과제의 목표인 3.3 kWh/m³를 달성하기 위해 각 공정별 에너지 사용량 목표치를 제시(그림 97)하였으며, 이 목표치는 국내외 공정들의 에너지 사용량에 대한 기술 수준 분석을 통해 설정하였음
- 또한, 마스다르 프로그램에 따르면, 인테이크 및 에너지, 기타 부대시설은 UAE에서 지원하도록 되어 있어 현지에 설치될 파일럿 플랜트는 이 시설을 제외하고 각 공정별 목표치를 배분하였음
- 전처리 공정은 0.25 kWh/m³, RO 트레인은 2.5 kWh/m³, Remin 설비는 0.1 kWh/m³로 설정하였으며, 부대시설에 소요되는 에너지 사용량을 합산하면, 총 플랜트 에너지 사용량 목표치인 3.3 kWh/m³를 달성할 수 있음



	인테이크	전전처리	UF	Cartridge Filter	HP Pump	ERD	Reverse Osmosis	Remineralization	Storage	기타
SEC (총 : 3.054 kWh/m ³)	0.2 kWh/m ³	0.05 kWh/m ³	0.2 kWh/m ³		2.5 kWh/m ³ 이하		0.1 kWh/m ³			
조건	UAE 공급	UF를 위한 적조/SS 제거율 90%이상	플럭스 120 LMH 이상	UF에서 직접 송수하면 미설치	막의 노후에 따른 SEC 증가 및 보른 제거율에 대한 안전률 고려 필요		송수 펌프는 제외			
연구내용		적조 및 고탁도 대응 공정 개발	1. 고평럭스 및 고효율 UF 모듈 및 스킴 개발 3. 1/2 수준의 UF 모듈 개발		1. 고평럭스를 위한 코팅방법 2. Single pass를 위한 트레인 설계 3. 보른 제거율증가					

그림 97. 각 공정별 에너지 사용량 목표치

- 막을 이용한 전처리 공정은 저에너지를 위한 고평럭스 막 모듈 및 스킴 기술을 개발할 경우, 0.2 kWh/m³로 저감이 가능함
- 또한, 고 플럭스 RO 막을 적용하고 단일 트레인으로 설계할 경우, 2.5 kWh/m³ 이하로 운전이 가능할 것으로 예상됨

표 27. 각 공정별 에너지 사용량 목표 및 저감량

(단위: kWh/m³)

공정	에너지 사용량 목표	기존 최저 에너지 사용량	저감량	비고
전처리 공정 (전전처리공정 포함)	0.25	0.4 이상	▽0.15	
RO 트레인	2.5 이하	2.5 이상	-	고효율 고프럭스막 및 Single Pass 적용으로 0.1kWh/m ³ 이상 저감이 가능할 것으로 예측
후처리	0.1	0.1	-	후처리는 현재 최저에너지 사용량으로 연구과제에서 제외
O&M	0.45	0.5	▽0.05	
계	3.3 이하	3.5 이상	▽0.2	

다. UAE와의 공동 성능 검증을 위한 현지 플랜트 규모 설정

○ UAE 기술 검증 프로그램에 적용된 설비는 앞서 설명한 바와 같이 4개 회사에서 진행되고 있으며, 그 세부사항은 다음과 같음

표 28. UAE 기술 검증 프로그램에 참여하고 있는 파일럿 플랜트 세부 사항

플랜트명	공법	회사명	용량(m ³ /d)	비고
Sidem Veolia plant	RO	Sidem Veolia	300	Ghantoot 지역
Suez-Degramont plant	Brine ion exchange	Suez-Degramont	100	
Abengoa water plant	RO-MD hybrid	Abengoa water	80 (1,000 : RO)	
Trevi system plant	FO process	Trevi	50	

- 표 28과 같이 4개 회사의 파일럿 플랜트 중에 가장 큰 플랜트는 RO 기반 해수담수화 공정을 입증하고 있는 Sidem Veolia 플랜트이며, 다른 방식의 공정들은 아직 실증화하기는 기술적 어려움이 있어 비교적 큰 용량의 플랜트로 설치하지 않은 것으로 판단됨
- 일반적으로 실증을 위한 파일럿 플랜트 규모는 50 m³/d 이상을 기준으로 하지만, 국내 연구단에서 현재 GMVP 연구단이 1,000 m³/d 규모의 SWRO 공정에 400 m³/d 규모의 MD 시스템과 240 m³/d 규모의 PRO 시스템을 구축하는 것으로 되어 있고, 공정고도화 연구단도 9,000 m³/d의 실증 시설에 성능을 검증하는 것으로 목표로 하고 있어, 실제 연구과제 수행 후 실증 플랜트로 인정받기 위해서는 최소한 1,000 m³/d 이상의 플랜트 검증이 적절함

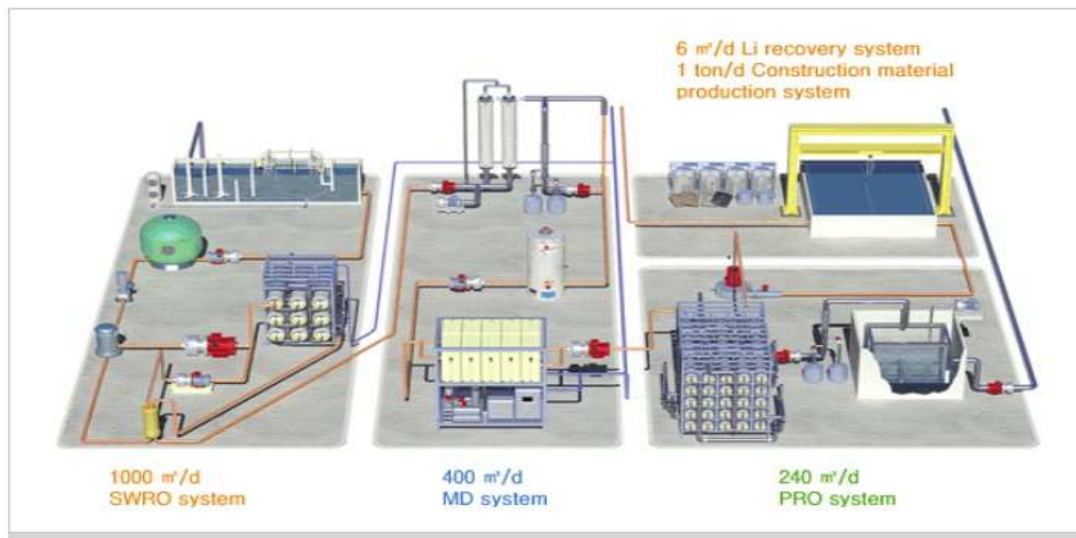


그림 98. GMVP 연구단 파일럿 플랜트 계획
(GMVP 연구단 홈페이지 참조)

- 또한, 본 연구과제의 RO 공정이 Sidem Veolia 플랜트와 공법에서 중복되고, UAE 기술 검증 프로그램을 거쳐 실제 현지에 물 공급을 추진하기 위해서는 최소한 2,000 m³/d 규모 이상으로 건설되어야 한다는 것에 대해 UAE 마스다르와 논의한 바 있음
- 따라서, 본 연구과제에서 UAE 현지에서 건설하게 될 해수담수화플랜트는 최소 2,000 m³/d 규모 이상으로 건설되어야 하며, 모든 개발 기술들은 테스트베드 부지 내에서 성능 검증이 이루어져야 함

3. 연구의 비전

○ ABC 전략

- 역삼투공정 고도화 설계/시공/운영기술 개발 (Advancement of RO Design/Build/Operation)
: 세계 최고 수준의 에너지 소모율 달성 (3.3 kWh/m³)
- 브랜드 가치 상승기술 개발 (Build up Brand) : 국내에서 개발된 기술의 세계화를 위해 originality를 확보할 수 있는 기술 개발
- 중동지역 현지화 기술 개발 (Characterization) : 중동지역의 고염 및 고온 등의 극단적인 조건의 설계 환경을 위한 역삼투공정 기술을 개발

○ 비전

- ABC 전략을 통하여 세계 최고 시장인 중동지역의 해수담수화 시장에서 글로벌 TOP 5 진입

ABC 전략을 통한 미래비전



그림 99. 신재생에너지 활용 저에너지 고효율 역삼투 기술 개발과제의 비전

3절 기술개발에 따른 미래상

- UAE에 2,000 m³/d 규모의 파일럿 플랜트를 건설하고, 마스다르와의 플랜트 공동 연구를 통해 세계 최고 수준의 저에너지 사용량을 검증함으로써, 향후 UAE 및 중동 지역에 건설될 신재생에너지-해수담수화 플랜트 수주에 유리한 위치를 선점
- 개별 부품 기술을 포함한 엔지니어링 설계 기술 등 90% 이상의 순수 국내 기술로 구축된 플랜트 건설 기술을 바탕으로 해수담수화 기술 수요국을 대상으로 해외 수출을 촉진
- 전세계 최고 기술의 경합의 장인 중동지역에서 현지 기관과의 협력 연구 및 기술 검증으로 통한 국내 기술의 브랜드 가치 상승
- 통합시스템 설계기술 개발에 따른 중소기업의 동반 해수담수화 시장 진출과 건강한 생태계 구축에 따른 자립화 기반 마련

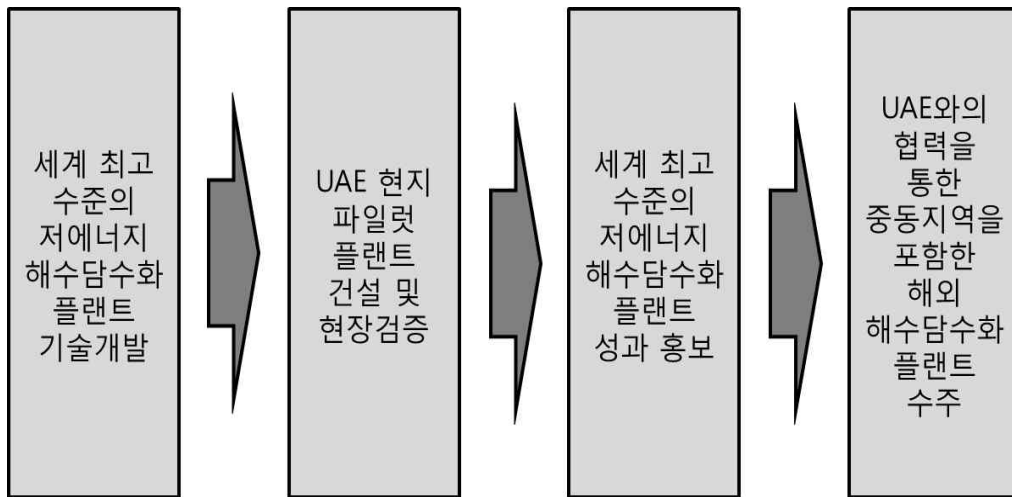


그림 100. 기술개발에 따른 향후 추진 방향

건강한 해수담수화 산업 생태계 구축



그림 101. 신재생에너지 활용 고효율 역삼투공정 기술개발에 따른 미래상

4절 연구개발 과제 구성

1. 기술개발분야 조사 결과

- 연구개발 과제 도출을 위한 프로세스는 그림 102에 나타나 있는 바와 같이 진행하였음

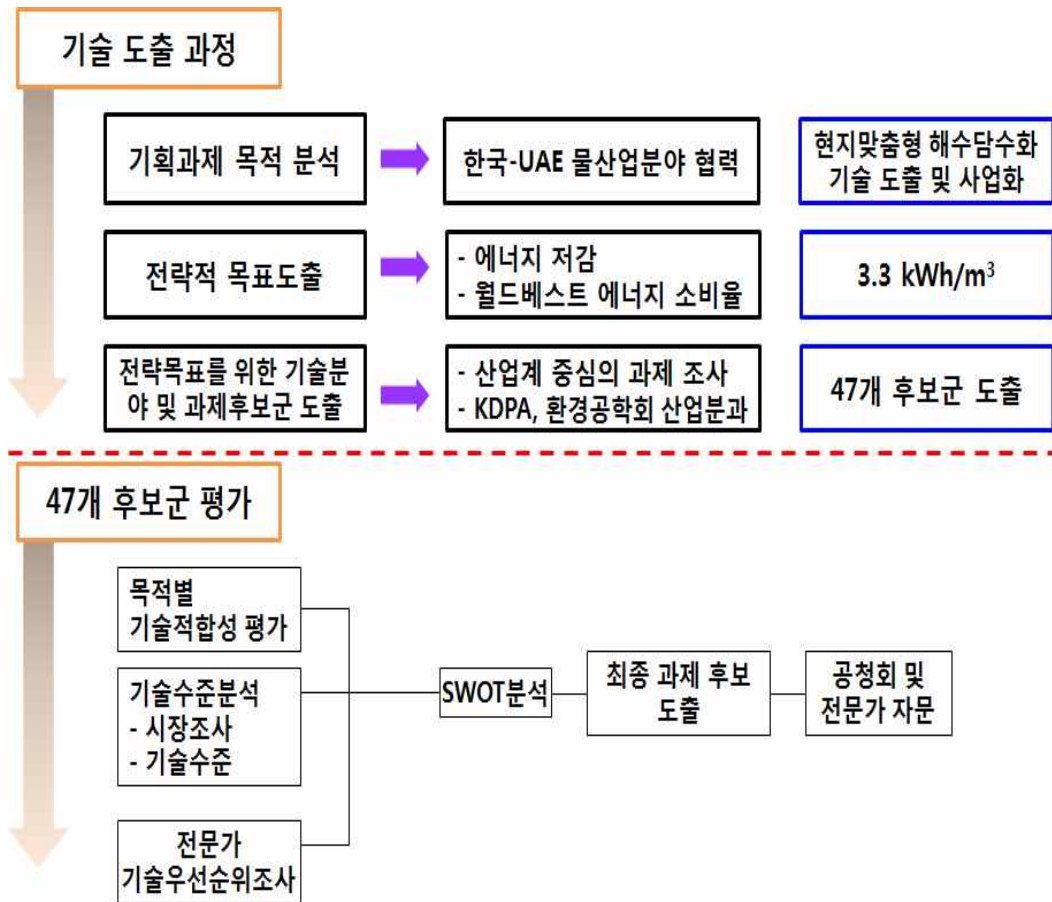


그림 102. 연구개발 과제 도출 프로세스

- 전문가 의견을 조사한 결과, 본 연구과제에서 연구개발을 통해 달성해야 하는 해수담수화플랜트의 에너지 사용량에 대한 목표치에 대한 의견은 총 설문자 중 62%가 중동지역의 해수 수질을 고려할 때, 3.0-3.5 kWh/m³ 수준도 상당히 도전적인 목표임을 확인

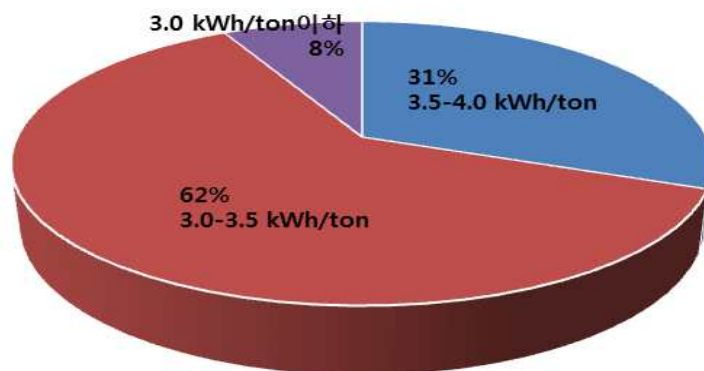


그림 103. UAE 현지 해수담수화플랜트 에너지 사용량 설문조사 결과

○ 연구개발 과제 구성을 위한 기술개발 분야에 대한 설문 조사 결과는 다음과 같음

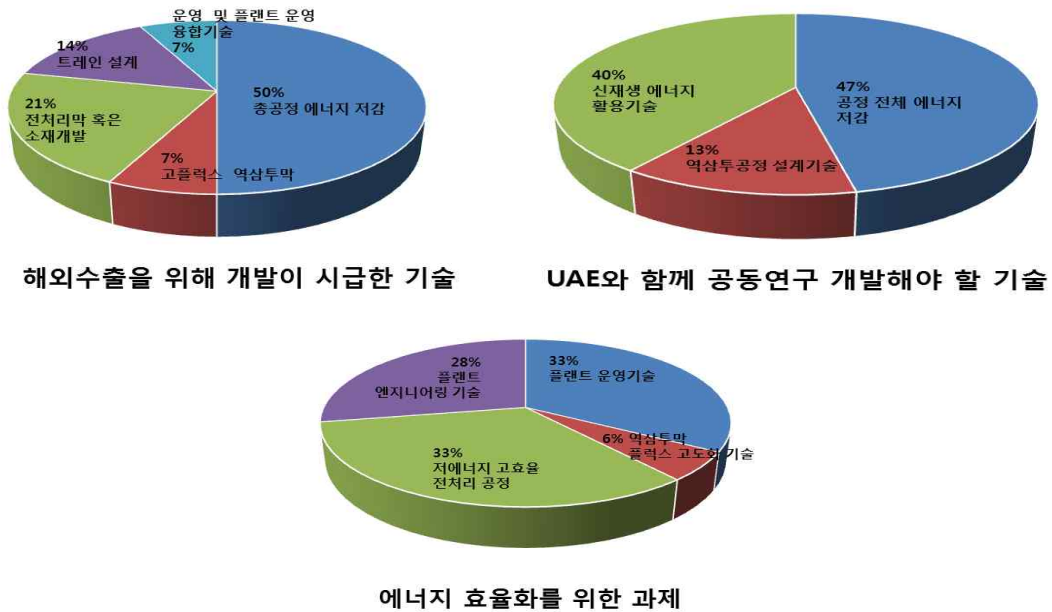


그림 104. 기술개발 분야에 대한 전문가 의견 조사 결과

- 에너지 효율화를 위한 과제는 ‘저에너지 고효율 전처리 공정’과 ‘플랜트 운영기술’이 각각 33%로 가장 높았으며, ‘플랜트 엔지니어링 기술(28%)’과 ‘역삼투막 플럭스 고도화 기술(6%)’순으로 의견이 도출되어 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트 건설을 위해 전처리 공정 및 플랜트 운영 기술 개발에 의한 에너지 저감 가능성이 매우 높은 것으로 나타남
- 해외 수출을 위해 연구개발이 시급한 기술에 대한 설문결과는 ‘총 공정 에너지 저감기술(50%)’, ‘전처리 막 혹은 소재개발(21%)’, ‘RO 트레인 설계기술(14%)’, ‘플랜트 운영 기술(7%)’, ‘고플럭스 역삼투막 개발(7%)’ 순으로 응답하여 국내 해수담수화 기술의 해외 수출을 위해서 총 공정의 에너지 저감 및 전처리 공정에 대한 연구개발이 시급한 것으로 조사됨
- UAE와 공동 연구로 개발해야 할 기술에 대해서는 ‘공정 전체 에너지 저감기술’이 47%로 가장 높았으며, ‘신재생에너지 활용기술(40%)’와 ‘역삼투공정 설계기술(13%)’도 설문에서 도출되어 UAE 등 중동지역에서 에너지 사용량 저감기술과 신재생에너지를 활용한 해수담수화 기술이 필요한 것으로 판단됨

2. 연구과제 수요조사 결과

- 연구과제 도출을 위해 실시한 수요조사는 대표적인 국내 환경관련 3개 학회(대한환경공학회, 물환경학회, 상하수도 학회) 회원 약 500여명을 대상으로 실시하였음
- 수요조사를 통해 총 47개 기술을 제안하였으며, 세부적으로는 전전처리분야 6개, 전처리 분야 16개, RO 분야 8개, O&M 분야 9개, 신재생에너지 분야 3개, 기타 분야 5개 기술이 제안되었으며, 자세한 기술은 표 29와 같음
- 기술 수요조사를 통해 도출된 47개 기술에 대해 타 과제 및 도출 과제 간 중복성, 연구개발 시급성, 연구 목표에 대한 효과성 등을 기획회의에서 상세하게 논의하였으며, 이 중 연구개발이 필요한 중점과제 11개를 최종적으로 선정하여 기술 수준 분석을 실시함

표 29. 기술 수요조사를 통해 도출된 연구과제

기술 분야	수요조사 과제
전전처리	해수 내 입자성 물질 제거기술: DAF 대체용 저에너지 적조처리 기술
	적조 제거를 위한 전전처리 설계기술 개발
	적조 대비 저에너지 고속 전처리 직접여과 공정 개발
	미세망목 스트레이너에 의한 조류 제어 전처리 공정 개발
	가중 응집제 및 고속응집 침전공정에 의한 전처리 공정 개발
	저온 플라즈마를 이용한 미세기포 가압부상조 적용기술 개발
전처리	고효율 저에너지 UF 막 개발 및 모듈 개발
	해수용 UF 스킴드 개발 및 설계기술 개발
	DAF/UF/CMF의 통합을 위한 새로운 막 개발
	기공 연결성 조절을 통한 고유량/고선택성 고분자 또는 유/무기 하이브

	리드 UF 제조 및 모듈 개발
	장시간 운전에 따른 UF 파울링 저항 코팅기술 개발
	내화학용 UF 막 제조기술
	UF 재활용 기술
	해수담수화 전처리용 광감응형 기능성 정밀여과막 및 모듈 개발
	저온 플라즈마를 이용한 UF 역세정 에어버블 생성기술 개발
	침지형 막을 이용한 저에너지 전처리 기술 개발
	Ultra high flux UF 막 모듈 개발
	걸프지역 수질 맞춤형 전처리 공정 및 설계기술 개발
	MBR+UF 하이브리드 해수담수화용 전처리 공정 및 설계 기술 개발
	SWRO 및 고압펌프 수명연장을 위한 카트리지 필터 개발
	내압성 및 교체가 용이한 카트리지 하우징 개발
	카트리지 필터의 효율적 운영을 위한 Modular Rack 설계기술 개발
RO 트레인	공정 Flow 및 사업화를 위한 엔지니어링 기술 개발
	폐열 활용 안정적 수온을 통한 고프럭스 RO 공정기술 개발
	고효율 고압펌프/ERD 국산화
	태양광 연동 저장 및 운전/에너지 저감을 위한 펌프 자동 가동률 조절 기술
	저에너지 RO 공정과 보론 제거를 위한 2nd Pass 공정 설계기술 개발
	펌프 대형화 및 배관 최적화를 통한 저에너지 RO 트레인 설계기술 개발

	2nd Pass 대체를 위한 CDI 적용 기술 개발
	저에너지용 고프러스 RO 막 개발 및 국산화
O&M	해수용 온라인 수질 측정기 (탁도, pH, 입자성 물질)
	O&M용 화학약품 개발
	공정 단순화 및 파울링 억제기술 개발
	막기반 전처리 및 RO 공정 막오염 저감을 위한 TEP 분석 및 제어기술
	저에너지 전처리 O&M 기술 개발
	화학약품 투입량 최적화 기술 개발
	신개념 미생물 성장 억제제 개발
	RO 화학세정 결정을 위한 센서 개발
	파울링 분석 및 세정기술 개발
신재생에너지 융합	수상 태양광 발전 시스템 개발
	마이크로 그리드 구현을 위한 EMS(에너지관리시스템), ESS (에너지 저장 장치) 조합 시스템 개발
	플랜트 전력지능제어를 위한 마이크로 그리드 기술 개발
기타	내화화성을 가진 부식방지용 방수재 개발
	취수설비 개발
	생산수 내 미네랄 주입 기술 개발
	EPC/O&M용 DB 구축 및 활용
	부식방지를 위한 아연 이온화 장치 개발

3. 기술 수준 분석

가. 각 기술별 연구개발 수준 분석

- 역삼투 기반 신재생에너지 활용 해수담수화플랜트 기술 수요조사에서 도출된 연구과제에서 전전처리, 전처리, RO 트레인, O&M 관리 기술 분야에 대한 기술 수준 분석결과는 다음과 같음

(1) 전전처리 공정

연구 분야	Algae bloom 대비 및 UF 보호용 저에너지 고속 전전처리 공정 및 설계 기술 개발
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - Gulf 지역은 TDS 45,000mg/L, 온도 30℃를 기준으로 설계되며, TOC 2mg/L, Turbidity 3.6NTU, SDI 16.7로 다른 지역의 해수에 비해 처리가 상당히 열악한 상황이며, 인근의 홍해에 비해 유기물 농도가 25% 높고, biopolymer도 60% 가량 높음 - UF 멤브레인 또한 막오염에 상당히 취약할 수 있으며, 이는 수명단축으로 이어져 O&M 비용을 증가시키는 원인이 됨 - 기존 DAF는 SS의 유실이 높아 후단의 UF 공정에 영향을 줄 수 있으며, Gulf 지역에서 DAF 후에 바로 UF 공정으로 유입시키게 되면 UF 성능에 심각한 문제를 일으킴 - DMF와 마이크로스트레이너는 직접여과가 불가능하고, backwashing 주기가 짧아 유입수질에 대해 처리수질이 불안정하고, 수량을 증가시키는데 한계가 있음 - 따라서, algae bloom 문제에 대응가능하면서 UF에의 영향을 최소화시킬 수 있는 전전처리 공정개발이 필요하며, 이 공정은 낮은 에너지에서 운영이 가능하면서 여과 선속도는 높고 backwashing 주기가 짧으면서도 안정적 처리가 가능하여야 함
국내외 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> - 국내에는 기존 하폐수 처리에 사용하던 많은 공정들이 개발되어 있으나, 해수담수화에 적용된 실적은 없음 - 해외 기술 중에도 UF 멤브레인 전처리용으로 사용된 기술은 DAF와 마이크로스트레이너가 대부분임 - 에너지사용량 <ul style="list-style-type: none"> · DAF: 0.2-0.25 kWh/m³, DMF: 0.25 kWh/m³

	<ul style="list-style-type: none"> - SS 제거율 · DMF: 3mg/L, DAF: 3mg/L, 마이크로스트레이너: 3mg/L - 역세척 주기 · DMF: 수십회/일, 마이크로스트레이너: 여과와 동시에 실시 - 수리학적 체류시간(HRT) · DAF: 1.5시간, DMF: 4시간 - 여과 선속도 · DMF: 5m³/m²/h, 마이크로스트레이너: 10m³/m²/h 	
연구 목표	에너지 사용량	- 0.1 kWh/m ³ 이하
	기타 목표	<ul style="list-style-type: none"> - SS: 1mg/L - 수리학적 체류시간(HRT): 40min - 여과선속도: 15 kWh/m³ - 역세척주기: 1-2회/일

(2) 전처리 공정

연구 분야	UF 막을 이용한 해수담수화 전처리
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화 전처리는 크게 재래식 방법인 응집-이단여과(Dual Media Filter)와 신기술인 UF(Ultrafiltration)로 구분되어짐 - 기존의 응집-이단여과공정은 시설비 및 운영유지비가 적게 들어가지만 유입수질에 따른 처리수질의 불안정성(SDI 4이상)과 많은 화학약품이 사용된다는 점에서 단점을 보임 - UF 공정은 처리 수질의 안정성(SDI 3이하)과 화학약품 사용을 최소화할 수 있다는 장점이 있는 반면에, 시설비 및 운영유지비가 많이 드는 단점이 있음 - CAPEX와 OPEX 전체적인 분석은 UF 공정이 응집-이단여과에 비해 약 1% 정도 더 소요되어 거의 같은 수준임 - UAE와 같은 Gulf 지역의 해수 수질(Turbidity 3.6NTU, SDI 16.7, Conductivity 63.5ms/cm)은 다른 곳에 비해 상당히 열악한 상황으로, RO 멤브레인의 안정적 처리 및 수명연장을 위해서는 처리의 안정성을 보이는 UF 전처리 공정이 필요함 - 따라서, 해수담수화 전처리를 위한 UF 멤브레인 개발 및 모듈 설계, 스킴 설계 등의 연구가 진행되어야 함
국내 기술	○ 해수담수화 전처리에 사용된 멤브레인 사양

수준	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화플랜트사업단(코오롱 MF 멤브레인) - 공극크기: Microfiltration (MF), 0.1μm - 최대플럭스: 60 LMH - SDI: 평균 2.5 - 에너지사용량: 약 0.25 kWh/m³ 	
국외 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계 최고의 해수담수화 전처리용 멤브레인 사양 - 회사명(제품명): Asahi Kasei (UNA-620) - 공극크기: 0.1 μm - 최대플럭스: 100 LMH - 에너지사용량: 약 0.25 kWh/m³ 	
연구 목표	에너지 사용량	- 0.2 kWh/m ³ 이하
	기타 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 최대플럭스: 120 LMH - 공극크기: 0.05 μm - SDI: 평균 2.0

(3) 카트리지 필터

연구 분야	해수담수화 전용 카트리지 필터 및 하우징, Modular Rack 개발
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 카트리지필터는 많은 기업들이 현재 개발되어 판매하고 있으며, 이 중 해수담수화 전처리용으로 사용하는 제품도 판매 중임 - 해수담수화용 카트리지필터는 주로 RO 막으로 들어가기 전에 설치되어 고압펌프 및 RO 멤브레인 보호용으로 사용됨 - 해수담수화용 카트리지필터는 pleated type이 주로 사용되나, depth type도 있음 - 현재 카트리지필터의 가장 큰 문제점은 내구성이며, 일반적으로 1-3개월에 한번씩 필터를 교체하고 있음 - 부스터펌프의 압력으로 유입수를 밀어 넣기 때문에 필터가 견디지 못하고 손상되면서 내구성이 떨어짐 - 따라서, 내구성이 있으면서 경제적인 해수담수화 전용 카트리지 필터의 개발이 시급한 실정임
국내외 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> - 카트리지필터는 RO 부스터펌프의 압력을 그대로 사용하기 때문에 에너지사용량은 없음 - 교체주기: 1-3개월 - 주로 필터와 하우징을 판매하고 있음

		- Pore size: 주로 5-10 um																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>회사명</th> <th>제품명</th> <th>형태</th> <th>재질</th> <th>Pore size (um)</th> <th>Differential pressure (bar, 20°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GE</td> <td>ROsave.Z™s</td> <td>Depth</td> <td>polypropylene</td> <td>1-5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PALL</td> <td>GRP</td> <td>Depth & Pleated</td> <td>polypropylene</td> <td>5-10</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>3M</td> <td>Micro-Klean™ RW</td> <td>Pleated depth</td> <td>polypropylene</td> <td>5</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>fluytec</td> <td>fluytec</td> <td>pleated</td> <td>polypropylene</td> <td>1-40</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>ABSfil</td> <td>PORFLUXIII</td> <td>pleated</td> <td>polypropylene</td> <td>10</td> <td>4.2 (30°C)</td> </tr> <tr> <td>SYNOPEX</td> <td>Pleated filter</td> <td>pleated</td> <td>polypropylene</td> <td>4.5, 10</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>				회사명	제품명	형태	재질	Pore size (um)	Differential pressure (bar, 20°C)	GE	ROsave.Z™s	Depth	polypropylene	1-5		PALL	GRP	Depth & Pleated	polypropylene	5-10	2.0	3M	Micro-Klean™ RW	Pleated depth	polypropylene	5	2.4	fluytec	fluytec	pleated	polypropylene	1-40	2.1	ABSfil	PORFLUXIII	pleated	polypropylene	10	4.2 (30°C)	SYNOPEX	Pleated filter	pleated	polypropylene	4.5, 10	2.0
회사명	제품명	형태	재질	Pore size (um)	Differential pressure (bar, 20°C)																																										
GE	ROsave.Z™s	Depth	polypropylene	1-5																																											
PALL	GRP	Depth & Pleated	polypropylene	5-10	2.0																																										
3M	Micro-Klean™ RW	Pleated depth	polypropylene	5	2.4																																										
fluytec	fluytec	pleated	polypropylene	1-40	2.1																																										
ABSfil	PORFLUXIII	pleated	polypropylene	10	4.2 (30°C)																																										
SYNOPEX	Pleated filter	pleated	polypropylene	4.5, 10	2.0																																										
연구 목표	에너지 사용량	없음																																													
	기타 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 교체주기: 6개월 - Pore size: 10-50 um - Pleated or Depth or Pleated depth 																																													

(4) RO 멤브레인

연구 분야	RO 멤브레인
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 해수 담수화 장비 시 역삼투압 이상에서 최종 염수에서 물과 염을 분리하는 멤브레인으로서 spiral wound module 형태로 엘리먼트 제품화하여 사용되고 있음 - 해수의 경우 분리막의 높은 효율 및 높은 염제거율 (99.85%, NaCl 32,000ppm, 800 psi) 필요하며, 관계용수 공급 시 높은 보론 제거율 (93%, Boron 8ppm) 이 요구 되고 있음 - 중동지역의 해수 수질 의 경우 63.5mS/cm 과 같은 높은 전도도를 유지하고 있는 지역에서 RO 멤브레인의 온도 및 농도 변화에 따른 안정적인 성능 유지가 필요함
국내 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수담수화 사용된 고염제거율 RO 멤브레인 사양 <ul style="list-style-type: none"> - 엘지 화학 SW R 400 - 염제거율 : 99.85% (NaCl 32,000 ppm, 800psi) - 보론 제거율 : 93.0% - 유량 : 9,000 GPD ○ 해수담수화 사용된 고염제거율 RO 멤브레인 사양 <ul style="list-style-type: none"> - 엘지 화학 SW ES 400 - 염제거율 : 99.80% (NaCl 32,000 ppm, 800psi)

	<ul style="list-style-type: none"> - 보론 제거율 : 89.0% - 유량 : 13,700 GPD 	
국외 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수담수화 사용된 고유량 RO멤브레인 사양 <ul style="list-style-type: none"> - 니토 SWC 5 - 염 제거율 : 99.80 % (NaCl 32,000 ppm, 800psi) - 보론 제거율 : 92.0% - 유량 : 9,000 GPD ○ 해수담수화 사용된 고유량 RO멤브레인 사양 <ul style="list-style-type: none"> - 니토 SWC ES - 염 제거율 : 99.80 % (NaCl 32,000 ppm, 800psi) - 보론 제거율 : 91.0% - 유량 : 12,000 GPD 	
연구 목표	에너지 사용량	-
	기타 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 염 제거율 : 99.92% (32,000ppm NaCl) - 보론 제거율 : 96 % - 유량 : 9,000 GPD

(5) 저에너지 보론 제거용 2nd Pass 공정 설계 기술

연구 분야	저에너지 보론 제거용 2nd Pass공정 설계기술
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 RO공정에서는 펌프 부하저감을 통해 에너지소비(SEC)를 줄이기 위해 ERD의 적용과 RO막 배열시 Split Partial 등의 설계기술이 사용됨. - Two Pass RO공정중 에너지 저감이 추가로 가능한 마지막 부분은 2nd Pass BWRO공정임. - 보론 제거를 위해 이온교환(IX)공정을 도입하면 에너지소비를 크게 줄일 수 있음. (기존의 2nd Pass BWRO공정이 가압공정인데 반해, 이온교환(IX)공정은 비가압공정이기 때문) - 요구수질에 따라 2nd Pass BWRO를 IX로 대체하거나 BWRO와 IX를 조합하여 공정을 구성하면, 보론 조건 변화시에도 에너지소비(SEC)와 생산수 수질을 모두 만족시킬 수 있음. - 2nd Pass BWRO를 대체하기 위한 IX공정 및 시스템 설계기술 개발 - 에너지사용량 0.2 kWh/m³의 보론 제거공정 설계기술 개발 - 에너지사용량(SEC) 및 생산수(TDS 및 보론) 수질을 만족시키기 위한 RO

	공정 설계기술 개발 - 에너지사용량 2.35 kWh/m ³ 의 RO공정 최적설계기술 개발 (취수, 전처리, 후처리 제외)	
국내 기술 수준	○ 2nd Pass용 BWRO기술 - 국내에서는 RO공정의 2nd Pass에 BWRO공정을 적용 - 목표 보론 농도 달성시 TDS농도가 필요 이상으로 낮아져 에너지가 필요이상 사용됨. - 에너지사용량: 0.5~0.7 kWh/m ³ (JMS 2012, 415, 1-8)	
국외 기술 수준	○ 2nd Pass용 이온교환(IX)+BWRO 조합 기술 - 국외에서는 RO공정의 2nd Pass에 IX공정과 BWRO를 조합하여 목표 에너지사용량(SEC) 및 생산수(TDS 및 보론) 수질을 달성함 - 에너지사용량: 0.1~0.2 kWh/m ³ 이하 (Desalination 2007, 205, 47-52)	
연구 목표	에너지 사용량	- 보론 제거 공정: 0.2 kWh/m ³ 이하 - RO공정: 2.5 kWh/m ³ 이하 (취수,전/후처리 제외)
	기타 목표	- 생산수 TDS: 500 mg/L 이하

(6) RO 트레인 설계 기술

연구 분야	저에너지 RO트레인 설계기술
연구 개요	- 일반적으로 RO트레인은 고압펌프, 부스터펌프, ERD, RO트레인으로 구성됨 - 에너지사용량을 줄이기 위해 고효율 대형펌프, 에너지회수장치(ERD) 및 공유 헤더 배관을 적용함 - 또한, 에너지 손실을 최소화하기 위한 펌프, ERD, RO트레인 간의 배관을 최적화함 - 이스라엘 IDE사의 경우 RO분야의 기술력을 나타내는 Pressure Center Design이라는 독자 설계기술을 보유함 - 따라서, 본 과제를 통해 저에너지 RO트레인 설계, 핵심 배관 설계 및 레이아웃 설계 기술을 개발함
국내 기술 수준	○ 국내의 RO트레인 설계 기술 - 에너지사용량을 줄이기 위한 독자적인 설계 컨셉을 보유하고 있지 않음

국외 기술 수준	○ 국외의 RO트레인 설계 기술 - 이스라엘의 IDE사에서는 펌프, 에너지회수장치, RO분리막의 크기와 스펙을 고려하여 Pressure Center Design이라는 독자 설계 기술을 보유함	
연구 목표	에너지 사용량	- RO트레인: 2.5 kWh/m ³ 이하 (취수,전/후처리 제외)
	기타 목표	

(7) 역삼투막 파울링 저감 기술

연구 분야	해수담수화 공정 Chemical dosing 최적화 기술 개발 및 의사결정 시스템 개발	
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 역삼투 공정에는 전전처리, 전처리, 후처리에서 다량의 약품이 투입되고 있으며, 이는 응집처리, 파울링제거, 보론제거 등을 목적을 가지고 있음. - 역삼투 공정에서 총 O&M 비용 중 변동 가능한 O&M의 비중은 50%~80%를 차지하고 있으며, 이는 공정전체에서 큰 비중을 차지하고 있음을 확인할 수 있음. - 하지만, 경험적으로 전체공정에서 사용되고 있는 약품에 대한 투입양/시기/방법들이 결정되고 있으며, 이에 대한 공학적인 접근이 필요하다고 판단함. - 하지만, 경험적으로 전체공정에서 사용되고 있는 약품에 대한 투입양/시기/방법들이 결정되고 있으며, 이에 대한 공학적인 접근이 필요하다고 판단함. 	
국내 기술 수준	- 역삼투막 파울링의 최소화하기 위한 전전처리 및 전처리시 투입되는 약물의 경우 경험적인 방식에 의하여 그 양과 투입시기를 등을 결정하고 있는 상황이며, 이에 파생되는 경제적인 비용에 대한 고려가 미흡한 실정	
국외 기술 수준	- Yuma Desalting Plant에서는 스케일링 현상을 방지하기 위해 사용되는 antiscalant,들의 주입량을 최적화하기 위해 전자기 장치(MD)와 고전압 콘덴서 장비(HVC)를 사용하는 연구를 진행하였으며, 2mg/L의 sodium hexametaphosphate를 주입했을 때 스케일링을 피할 수 있었으며 이 때 93%의 회복률을 나타냈다.	
연구 목표	에너지 사용량	- UAE 해수담수화시설 기준 3.3 kWh/m ³ 를 달성할수

	있는 해수담수화시설의 운영관리기술 개발
기타 목표	- 역삼투 막모듈 5년 50% 교체기술 - 약품주입량 1/2저감, 약품세척주기 50% 연장기술

(8) 역삼투막 파울링 제어를 위한 O&M 기술

연구 분야	역삼투 담수화공정의 바이오파울링 제어를 위한 통합모니터링 및 운영관리기술 개발	
연구 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 해수담수화시설에서 RO 멤브레인의 파울링을 억제하기 위해 SDI 중심의 전처리시설의 설계 및 운영에 중심을 둠 - 최근 중동지역의 역삼투막 오염연구에서 무기입자보다 TEP (Transparent exopolymeric particles)와 같은 생물학적 막오염 원인이 지속적이고 비가역적인 오염을 발생시키는 것으로 보고되었으나, DAF, MMF, UF 등의 기존 전처리 기술에서는 TEP와 같은 생물학적 막오염 원인의 제어효율에 대한 정량적 분석이 불가능함 - 본 연구에서는 TEP와 같은 생물학적 막오염 원인을 통합적으로 모니터링하고, 막오염원인물질로 인한 바이오파울링을 효과적으로 제어할 수 있는 생물학적 막오염 지연제, 화학세정제 및 화학세정기법을 최적화하는 운영관리기술을 개발하고자 함 - 이를 위해 모듈단위에서의 바이오파울링물질 모니터링 및 화학적 바이오파울링 억제 및 세정방법의 최적화를 수행하여 역삼투 해수담수화공정의 장기운전시 담수생산 에너지 증가를 최소화 할 수 있는 운영기술을 개발하고자 함 	
국내 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미생물층 세정용액 <ul style="list-style-type: none"> - 0.1% 수산화나트륨(Sodium Hydroxide), - 1.0% 에틸렌디아민4초산 나트륨 (Sodium Ethylene Diamine Tetra-acetic acid) ○ 미생물 방지 약품 	
국외 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> - 염소, 아황산나트륨, 과산화수소, 과초산, 포름알데히드, 4기살균요오드 (Iodine Quaternary Germicide) - 산화제 주입 (NaOCl)이후 중화제(NaHSO3 or Na2S2O5) 후단 주입 - 비산화성 biocide 연속 주입(3~5 ppm) 	
연구 목표	바이오파울링 제어 운영기술 개발	- 바이오파울링 물질 통합모니터링 자료를 이용한 바이오파울링 제어기법 및 대응 운영기술 개발

	기타 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오파울링 원인물질 제어를 위한 화학적 억제제 개발 - 바이오파울링 물질제거를 위한 화학세정제 및 최적 세정기법 개발
--	-------	---

나. 기술 수준 분석에 따른 국내의 기술 성능

- 기술 수준을 분석한 결과를 바탕으로 각 분야별 국내의 주요 성능을 비교 분석한 결과는 표 29과 같음

표 29. 각 기술 분야별 국내의 기술 성능

주요 공정	전전처리		막 전처리		RO 막 (800 psi, 20℃, 32,000 mg/L)		트레인 (33,000 mg/L, 10-20 ℃)	
	해외	국내	해외	국내	해외	국내	해외	국내
주요 성능	0.2 kWh/m ³	0.05 kWh/m ³	플럭스 100 LMH	플럭스 80 LMH	17,000 GPD	12,500 GPD	1.9 kWh/m ³	2.2 kWh/m ³
	HRT 1.5 hr	HRT 15 min	공극크기 0.1μm	공극크기 0.05μm	99.47% (TDS제거율)	99.8% (TDS제거율)	중양집중식	재래식
	SS 3 mg/L 이하	SS 3 mg/L 이하	PVDF 재질	PS 재질	89% (보론제거율)	89% (보론제거율)	ISD + Split partial	Split partial

6. 연구과제 구성

가. 세부과제

- 기술 수요조사 및 기술 수준분석을 통해 제안된 47개 과제의 우선순위 도출과 현 과제

의 최종 목표와의 부합성 검토를 통해 총 3개 분야 11개 과제를 도출하였으며, 3개의 세부과제와 8개의 공동과제로 구성하였음

- 본 과제의 최종 성과물은 UAE 현지에 파일럿 플랜트를 설치하는 것으로, 2,000m³/d의 full scale로 설치되는 Main line에 적용되는 기술과 현지 파일럿 플랜트에 semi-pilot scale로 현장검증을 하는 Auxiliary line에 적용되는 기술로 구분될 수 있음

표 30. 세부 과제명 및 과제 역할

세 부	세부 과제명	과제 역할	비 고
1	- 현지거점관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 제어방법 개발	- 총 과제 관리 및 Auxiliary line 기술 개발 주관 과제	세미 파일럿 규모
2	- 해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	- 해수담수화플랜트 요소 기술 개발 주관 과제	2,000 m ³ /d 규모
3	- 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	- 해수담수화플랜트 설계/시공/O&M 주관 과제	2,000 m ³ /d 규모

- 1세부 과제는 총괄 관리 및 Auxiliary line에 적용되는 기술개발 과제의 주관으로, 파일럿 플랜트 설치를 위한 마스다르와의 협력 및 공동 현장 검증과 Gulf 만 해수에 대해 가장 문제가 되는 조류에 대한 모니터링을 통해 저에너지 플랜트 운영을 위한 제어방법을 개발하는 과제임
- 2세부 과제는 고효율 저에너지 전처리 공정 및 고프레스 RO 막과 같은 해수담수화플랜트 요소기술개발을 위한 주관과제로서, 전 세계적으로 현재 이슈가 되고 있는 RO 트레인 전단에서 안정된 해수 전처리를 위한 대용량 막 모듈 및 시스템 기술을 개발하는 과제임

- 3세부 과제는 RO 플랜트 설계/시공 및 O&M 주관 과제로서, 고온 및 고염의 특징을 가지는 Gulf 만 해수원수에 대해 세계 최고 수준의 저에너지를 달성할 수 있는 플랜트 설계 기술 및 파일럿 플랜트를 시공하는 과제임

나. 공동 과제

표 31. 공동 과제명 및 과제 역할

세 부	공 동	공동 과제명	과제 역할	비고
1	1-1	- 대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 기술 개발	- Auxiliary line - 요소기술 개발	세미 파일럿 규모
	1-2	- 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발		
	1-3	- 고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발		
2	2-1	- 보론 및 염제거 능력 향상을 위한 역삼투막 및 모듈 개발	- Main line - 요소기술 개발	2,000 m ³ /d 규모
	2-2	- 조류 및 고탁도 해수 전전처리 공정 개발		
3	3-1	- 해수담수화플랜트 저전력·저비용 운영 관리 기술 개발	- Main line - O&M 기술 개발	2,000 m ³ /d 규모
	3-2	- 중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감 기술 개발		
	3-3	- 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발		

- 1세부 내의 공동과제는 총 3개로서, Auxiliary line에 들어가는 기술로 구성되었으며, UAE 현지 파일럿 플랜트에 semi-pilot 규모로 현장에 적용됨
- 2세부 내의 공동과제는 총 2개로서, 에너지 저감 및 고효율을 목표로 요소기술(부품 및 공정)을 개발하여 2,000 m³/d의 full scale로 현장에 적용되는 기술로 구성되었음

○ 3세부 내의 공동과제는 총 3개로서, 에너지 저감을 목표로 해담수화플랜트의 O&M에 관련 기술을 개발하여 파일럿 플랜트의 운영관리를 위해 현장에 적용되는 기술로 구성되었음

다. 총 과제 구성

세 부	세부 과제명	공 동	공동 과제명
1	- 현지거점관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 제어방법 개발	1-1	- 대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 기술 개발
		1-2	- 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발
		1-3	- 고효율 내압성 카트리리지 필터 모듈 기술 개발
2	- 해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	2-1	- 보론 및 염제거 능력 향상을 위한 역삼투막 및 모듈 개발
		2-2	- 조류 및 고탁도 해수 전전처리 공정 개발
3	- 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	3-1	- 해수담수화플랜트 저전력·저비용 운영 관리 기술 개발
		3-2	- 중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감 기술 개발
		3-3	- 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발

5절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 1세부 과제

○ 연구 목적

- UAE 마스다르 및 관련 기관과의 국제 공동연구 및 협력을 중심으로, 연구목표인 3.3 kWh/m³을 달성여부를 파악하여 파일럿 플랜트의 성능을 공동으로 검증하여 최종 성능평가 보고서를 제출
- UAE 현지 플랜트 사이트 선정, 플랜트 설치 및 성능검증이 원활하게 이루어질 수 있도록 현지 유관기관과 함께 협력 연구사업을 진행
- UAE 현지 플랜트 성능 평가를 위한 모든 과제의 사전 검증 및 관리 등에 대한 전반적인 진도관리를 수행
- 조류 모니터링 방법을 개발하여 해수담수화플랜트 공정 운영에 미치는 영향성을 분석하고, 조류 센서를 통한 제어 방안을 마련함으로써, 저에너지 플랜트 운영이 가능하도록 지원
- UAE 현지 플랜트의 Auxiliary line에 들어가는 기술 개발을 주관하는 과제로서, CDI 공정, 보론 제거공정, 카트리지 필터 모듈 개발을 통해 도출된 기술을 현지 UAE 플랜트에 현장 적용할 수 있도록 3세부과제와 협의를 통해 개발된 기술들이 UAE 현지 플랜트에서 성능검증이 가능하도록 지원

○ 공동 연구과제

- 대용량 CDI 모듈 및 공정 개발
- 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발
- 고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발

○ 최종 성과물

- UAE 현지 플랜트 공정별 조류 영향성 데이터베이스
- 적조 발생시 최적 저에너지 조류 제어 매뉴얼 구축
- 저에너지 고효율 신재생에너지-해수담수화 UAE 현지 플랜트 현장 검증 보고서
- TDS 제거율 90% 이상의 원통형 CDI 모듈 적용 시스템
- 보론 선택적 제거 공정 설계 기술 및 시스템
- SWRO 및 고압펌프 수명연장을 위한 카트리지 필터, 하우징, Modular Rack 설계 기술 및 시스템

가. 1세부 과제: 현지거점관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발

- 1세부과제는 마스다르 및 관련 기관과의 국제 공동연구 및 협력을 중심으로, 연구목표인 3.3 kWh/m^3 을 달성여부를 파악하여 파일럿 플랜트의 성능을 검증하고, 조류의 모니터링을 통해 플랜트 공정에 미칠 수 있는 영향을 분석하고 이를 제어할 수 있는 방법을 개발하는 과제임
- 1세부과제는 모든 과제에 대한 사전 검증 및 관리 등 국내에서 충분히 기술 검증이 이루어질 수 있도록 한 후에 UAE 현지 플랜트에서 적용되도록 진도관리를 진행함
- 연구과제 목표
 - ① UAE 현지 파일럿 플랜트 설치 및 성능검증을 위한 국제공동연구 거점관리
 - ② Gulf 만 해수의 적정 모니터링 및 파일럿 플랜트 각 공정의 조류 거동 파악 및 데이터베이스 구축
- 추진계획
 - ① UAE 현지 파일럿 플랜트 설치를 위한 공조체계를 구축하고 원수 내 조류 오염물질을 분석
 - ② UAE 현지 파일럿 플랜트를 설치하고 조류에 대한 현지 파일럿 플랜트 모니터링 시스템을 제안
 - ③ UAE 현지 파일럿 시운전을 지원하고 조류 제어 기술을 개발
 - ④ UAE 현지 파일럿 플랜트를 마스다르와 함께 성능을 평가하고 조류 제어기술을 통한 파일럿 플랜트를 운영

나. 1-1 공동과제: 대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발

- 1-1 공동과제는 고효율의 TDS 제거가 가능한 CDI 기술개발 통해 RO 트레인의 2nd Pass를 대체할 수 있는 대용량 플랜트로 발전시킬 수 있는 공정개발 과제이며, Auxiliary line에 현장 적용하여 성능을 검증함
- 연구과제 목표
 - ① 모듈 처리용량 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 의 CDI 원통형 (내경 4인치) 모듈 및 시스템 개발
 - ② 유입 TDS $1,000 \text{ mg/L}$ 에 대해 TDS 제거율 90% 이상, 회수율 80% 이상의 성능 검증

③ 에너지 소모량 0.4 kWh/m³

○ 추진계획

- ① 원통형 CDI 모듈 및 대면적 전극 개발
- ② 원통형 CDI 스택 성능 및 내구성 최적화
- ③ UAE 파일럿 플랜트에 100 m³/d 규모의 CDI 공정 설계와 구축
- ④ UAE 파일럿 플랜트 실증화 및 O&M 최적화

다. 1-2 공동과제: 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발

○ 1-2 공동과제는 1-1 공동과제와 같이 고효율의 보론제거가 가능한 이온교환(IX) 공정 개발을 통해 2nd Pass 대체할 수 있는 연구개발 과제이며, Auxiliary line에 현장 적용하여 성능을 검증함

○ 연구과제 목표는 세계 최고 수준의 저에너지 RO 기반 담수화 기술 개발을 위해 기존의 보론 제거공정인 BWRO 보다 경제적인 보론 제거용 이온교환 공정을 개발

- ① 에너지 사용량 0.1 kWh/m³ 이하 달성
- ② 생산수의 보론 농도 0.5 mg/L 이하의 목표를 만족하는 보론 제거 공정 기술 개발임

○ 추진계획

- ① 저에너지 보론 제거를 위한 고효율 이온교환(IX) 공정 및 시스템 설계 기술을 개발
- ② BWRO 공정과 이온교환 공정의 조합 공정 최적화 기술을 개발
- ③ 현지 파일럿 플랜트 내에 공정을 설치하여 성능 검증 및 운전 최적화

라. 1-3 공동과제: 고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발

○ 1-3 공동과제는 실제 해수담수화플랜트 운영 중에 가장 많은 문제를 가지고 있는 카트리지 필터의 성능을 개선하기 위한 기술개발 과제로서, 해수담수화 전용 필터를 국산화 하고, 저비용 소재를 이용한 하우스징을 개발하며, 수명연장 및 내압성이 보장되는 Modular Rack을 개발

○ 연구목표

- ① 기존 카트리지 필터 차압(0.8 bar) 기준 1.5배 이상의 교체주기를 가진 카트리지 소재 및 하우징 개발
- ② 8"×50" 크기의 해수담수화 전용 필터 개발 및 국산화
- ③ 기존 모듈 크기의 50% compact화
- ④ UF 기반 전처리와 연계하여 역세 및 UF 막 손상에서 발생하는 이물질로부터 펌프 및 역삼투막을 보호하기 위한 공극 5um 이하의 pleated type filter 개발

○ 추진계획

- ① 내구성 및 내압성이 유지되면서 경제적인 카트리지 필터 및 하우징을 개발
- ② 해수담수화 전용 카트리지 필터 Modular Rack을 개발
- ③ UAE 현지 파일럿 플랜트 설치 및 시운전
- ④ Modular Rack 개선 및 상용화 제품 생산

2. 2세부 과제

○ 연구 목적

- UAE 현지 플랜트의 Main line에 들어가는 요소기술(부품 및 공정) 개발을 주관과제로서, UF를 기반으로 하는 전처리 공정을 안정적으로 운전하기 위한 DAF 대체 신개념의 전전처리 공정과 해수담수화 전용 UF 막 모듈 및 시스템, 보론 및 염제거 성능을 향상시키기 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발이 주요 연구 목적임
- 고효율 고프레스 해수 전처리 전용 저에너지 대용량 막모듈과 스킴드를 설계하여 RO 기반 해수담수화플랜트 전처리 공정을 개발하는 과제로서, 막 모듈 및 스킴드의 설계 및 엔지니어링 기술을 개발
- UAE 수질 기준에서 높은 보론과 염제거를 달성할 수 있는 고성능 역삼투 분리막 및 모듈 개발
- 해수 내 부유 물질 및 조류 제거를 위한 필터 방식의 신개념 전전처리 개발을 통해 안정적으로 UF 막 전처리 공정을 운영할 수 있는 조류 및 고탁도 해수 전전처리 공정 개발

○ 공동 연구과제

- 보론 및 염제거 능력 향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발
- 조류 및 고탁도 해수 전전처리 공정 개발

○ 최종 성과물

- 세계 최고 수준의 투과플럭스 및 에너지 사용량이 가능한 해수 전처리용 UF 모듈, 공정, 엔지니어링 기술 및 운영 프로그램
- 초고성능 역삼투 분리막 및 엘리먼트 개발
- 고효율 저에너지 신개념 전처리 설계 기술 및 시스템

가. 2세부 과제: 해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발

○ 2세부 과제는 고효율 고프럭스 해수 전처리 전용 저에너지 대용량 막모듈과 스킴드를 설계하여 RO 기반 해수담수화플랜트 전처리 공정을 개발하는 과제로서, 막 모듈 및 스킴드의 설계 및 엔지니어링 기술을 개발하는 것임

○ 연구목표

- ① 세계 최고 수준의 해수 전처리 전용 막 투과플럭스인 120 LMH 이상
- ② 선진사의 PVDF 재질 UF 막 평균단가 대비 1/2 이하의 경제성이 확보된 UF 막 개발
- ③ 에너지 사용량 0.2 kWh/m³ 이하(RO 생산수 기준)
- ④ 공정 유출 수질 SDI 3 이하의 고효율 공정

○ 추진계획

- ① 해수담수화 전처리 전용 UF 모듈 기술 개발
- ② 해수담수화 전처리 전용 UF 공정 해외 플랜트 설계 및 시공
- ③ 해수담수화 전처리 전용 UF 공정 운영 프로그램 및 해외 플랜트 운영
- ④ 해수담수화 전처리 전용 UF 공정 해외 플랜트 현장검증 및 상용화

나. 2-1 공동과제: 보론 및 염 제거 능력향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발

○ 2-1 공동 과제는 높은 보론 및 염 제거율이 가능한 역삼투 분리막을 개발하는 과제로서, Gulf만의 해수원수 특성인 TDS 42,000 mg/L, 보론 5 mg/L, 수온 30℃에서 안정적인 염 및 보론 제거율을 보이는 고효율 역삼투막을 개발하고자 함

○ 연구 목표

- ① 신소재 기반의 유량 >7800GPD, 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92% (8x40 인치

42,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 30°C)

- ② 신소재 기반의 유량 >9000GPD, 염제거율 99.90%, 보론 제거율 95% (8x40 인치
32,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 25°C)

○ 추진 계획

- ① 초고보론 및 염 제거율의 역삼투 분리막 개발
- ② 초고보론 및 염 제거율 역삼투막 모듈 개발
- ③ 신소재 기반 역삼투막 모듈 제조 및 양산
- ④ 신소재 기반 역삼투막 모듈 설치 및 성능 검증

다. 2-2 공동과제: 조류 및 고탁도 해수 전처리 공정 개발

- 2-2 공동과제는 일반적인 기존의 UF 전처리 공정 전단에 설치되는 전처리 공정인 DAF, 마이크로스트레이너, MMF 공정에 비해 빠른 처리 속도와 안정적 처리를 도모할 수 있는 공정 개발과제로서, Gulf만 해수의 특징인 algae blooming과 고탁도 해수원수에 대해 고효율 처리가 가능한 한국형 전처리 공정을 개발하고자 함

○ 연구 목표

- ① 처리 선속도 10 m/h 이상
- ② 처리수질 탁도 4 NTU, TSS 3 mg/L, TOC 4 mg/L 이하
- ③ 에너지 사용량 0.05 kWh/m³ 이하의 목표를 달성할 수 있는 전처리 공정 개발

○ 추진 계획

- ① 한국형 전처리시설 설계 기술 확립 및 재현성 실험
- ② 해외 현지 실증 플랜트 제작
- ③ 해외 현장 설치 및 운전
- ④ 현지 파일럿 플랜트 현장 검증 및 기술이전

3. 3세부 과제

○ 연구 목적

- 3세부 과제는 해수담수화플랜트 설계/시공 및 O&M 관련 연구과제로서, UAE 현지에서

- 1세부 과제와의 공조 체제하에 2세부 과제의 요소기술을 접목하여 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트를 건설하고 운영하기 위한 설계/시공/O&M 기술개발 과제
- 해수담수화플랜트 지능화 기술 및 VFD 지능형 제어기술 개발을 통해 저에너지 해수담수화플랜트 운영관리 기술 개발
 - UAE 현지 플랜트 수질 모니터링 및 분리막 분석을 통한 막오염 저감기술과 고효율 막 세정제 개발을 통해 중동 환경 및 수질에 적합한 막오염 저감 기술을 개발
 - 해수담수화플랜트의 수압 시스템 및 에너지 맵핑 시스템을 개발하여 공정 내 압력 손실을 최소화하여 에너지 사용량을 줄일 수 있는 기술 개발

○ 공동 연구과제

- 해수담수화플랜트 저전력·저비용 운영관리 기술 개발
- 중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감기술 개발
- 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발

○ 최종 성과물

- 신재생에너지 활용 해수담수화플랜트 설계 및 시공 기술
- 해수담수화시설의 신재생에너지 Interface 기술
- 저전력·저비용 기반의 해수담수화 운영 최적화 프로그램 및 기법
- VFD 지능형 제어장치 및 로직 패키지
- 바이오파울링 제어용 막세정제 및 운영 소프트웨어 개발
- 해수담수화플랜트 수압시스템 설계 매뉴얼 및 소프트웨어
- 해수담수화플랜트 에너지 맵핑 및 원격진단 지원 시스템

가. 3세부 과제: 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공

- 3세부 과제는 GUIf 만의 해수원수 특징인 고온 고염 조건에서 세계 최고 수준의 저에너지 달성을 목표로 건설되는 2,000 m³/d 규모의 파일럿 플랜트 설계 및 시공 기술을 개발하고, 전체 플랜트 에너지 소비량 3.3 kWh/m³ 달성을 검증하는 과제임

○ 연구 목표

- ① 현지 맞춤형 신재생에너지 활용 고효율 저에너지 2,000 m³/d 급 해수담수화 플랜트 설계 기술 개발

- ② 중동 현지 운영 최적화를 통한 RO 트레인 에너지 소비량 2.5 kWh/m³ 달성
- ③ 전체 플랜트 에너지 소비량 3.3 kWh/m³ 달성을 위한 시공 및 검증

○ 추진 계획

- ① 2,000 m³/d 규모의 신재생에너지 활용 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 설계
- ② UAE 현지 파일럿 플랜트 시공 및 최적 운전
- ③ 에너지 소비량 3.3 kWh/m³ 달성을 위한 시설 보완 및 현장 검증

나. 3-1 공동과제: 해수담수화플랜트 저전력·저비용 운영관리 기술 개발

- 3-1 공동과제는 3세부 과제의 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트의 운영관리를 위한 지능형 플랫폼 기술을 개발하는 과제로서, 낮은 전력사용과 이로 인한 저비용 운전이 가능한 운영기술을 개발하여 파일럿 플랜트에 현장 적용하는 것임

○ 연구 목표

- ① 전력 사용량 연간 증가율 5% 이내
- ② 유지관리 비용 5% 이상 절감
- ③ VFD 지능형 제어에 의한 펌프효율 손실 10% 감소

○ 추진 계획

- ① 저에너지 해수담수화플랜트 운영데이터 실시간 분석, DB 구축 및 지능화 기술 개발
- ② 고압펌프 저전력 운전을 위한 VFD 지능형 제어기술 개발
- ③ 운영 및 유지관리 기술의 스케일업 방법 도출
- ④ UAE 현지 해수담수화플랜트 운영관리 시스템 구축 및 운영
- ⑤ 운영관리 지능형 플랫폼의 경제성 평가 및 100,000 m³/d 규모의 설계

다. 3-2 공동과제: 중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감기술 개발

- 3-2 공동과제는 UAE 현지 플랜트의 분자 생물학적 분석 및 시각화 기법에 기반한 막오염 저감관리 기술 개발과 촉매기반 선택적 산화에 의한 바이오 파울링 맞춤형 막세정제 개발로 UAE 해수 유입 조건 변동에 따른 Chemical Smart Dosing (CSD) 시스템을 최종적으로 개발하는 과제임

○ 연구 목표

- ① 막오염 저감관리 기술 개발을 통한 유지관리 비용 5% 절감
- ② 촉매기반 선택적 산화에 의한 바이오파우링 맞춤형 막세정제 개발로 기존 상용화 세정제 대비 세정효율 (차압 회복률) 10% 향상

○ 추진 계획

- ① UAE 해수 유입조건에 따른 약품 투입 자동화 및 최적화 모듈 개발
- ② UAE 해수 유입 조건 변동에 따른 CSD 시스템 개발
- ③ UAE 수질 모니터링 및 막오염 제어를 위한 막세정 기술의 실증플랜트 적용 및 효율 평가
- ④ CSD 최적 운전 도출 및 에너지 절감 효과 검증

라. 3-3 공동과제: 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발

- 3-3 공동과제는 담수화 공정 내의 압력 손실을 최소화하여 에너지 손실을 줄이기 위한 운영 기술 과제로서, 에너지 맵핑 시스템을 통해 담수화 공정의 압력 손실 최소화 및 에너지 절감에 기여하고자 하는 연구개발 과제임

○ 연구 목표

- ① 수압시스템에서의 에너지 손실 10% 이상 절감
- ② 담수화 공정 에너지 사용량 모니터링 및 에너지 효율 진단을 위한 에너지 맵핑 시스템(Energy mapping system; EMS) 개발

○ 추진 계획

- ① 담수화 공정 수압시스템 해석 및 에너지 효율측정 기술 개발
- ② 담수화 공정 수압시스템 및 실시간 에너지 측정·분석기술 개발
- ③ 담수화 공정 수압시스템 및 에너지 사용량 예측 기술 개발
- ④ 담수화 플랜트 에너지 맵핑 시스템 구축 및 성능 검증

4. 해외기술과의 차별성

- 본 과제는 RO 기반 해수담수화플랜트 World Best 에너지 사용량 3.3 kWh/m³를 목표로

설정하고 있어 전 세계적으로 가장 선도적인 성과를 올릴 것으로 예상되며, 연구과제의 성공은 상당한 파급효과를 가져올 것임

- 현재 마스다르 프로그램에서 추진되고 있는 4가지 기술들과 비교하면, 규모(2,000 m³/d) 면에서도 가장 큰 파일럿 플랜트 용량이며, **single pass** 만으로 **요구수질을 만족**하면서도 가장 낮은 에너지 사용량을 보인다는 점에서 획기적인 성과가 될 것임
- 또한, CDI 등과 같은 미래기술들이 RO 기반 해수담수화플랜트의 2nd Pass를 대체하기 위해 현장 검증함으로써, 미래 지향적인 기술이 상용화로 발돋움하는 계기가 될 것임

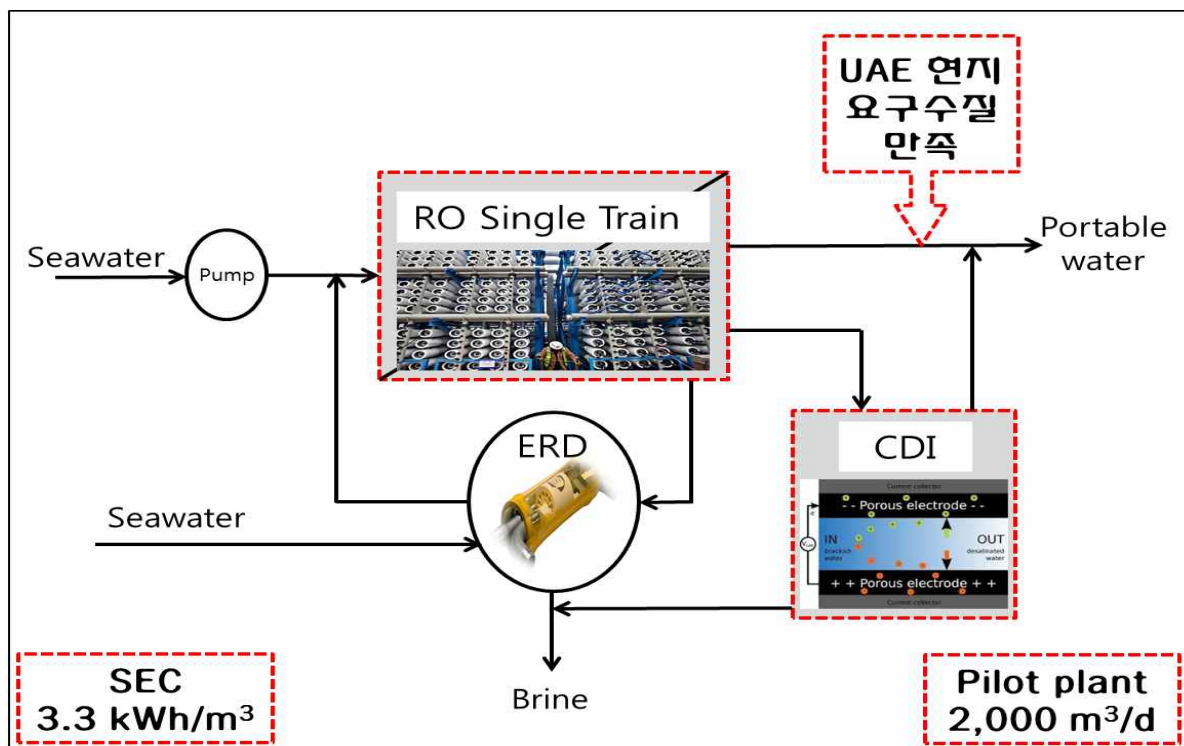


그림 105. 해외기술과의 차별성

6절 연구 추진 체계

1. 연구 추진 체계

- ‘신재생에너지를 활용한 고효율 저에너지 해수담수화플랜트 기술개발’ 연구 기획의 연구 추진체계는 다음과 같음

- 앞서 설명한 바와 같이, 3개 세부과제와 8개 공동과제로 구성되어 있으며, 1세부에는 현지거점관리와 Auxiliary line에 들어가는 3개의 공동과제로 구성되어 있으며, 2세부는 Main line에 적용되는 전처리 공정 및 역삼투 분리막 등 요소기술 개발에 관련된 2개의 공동과제, 3세부는 UAE 현지에 건설되는 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트의 설계/시공 및 운영관리 기술개발과 관련된 3개의 공동과제로 구성되어 있음

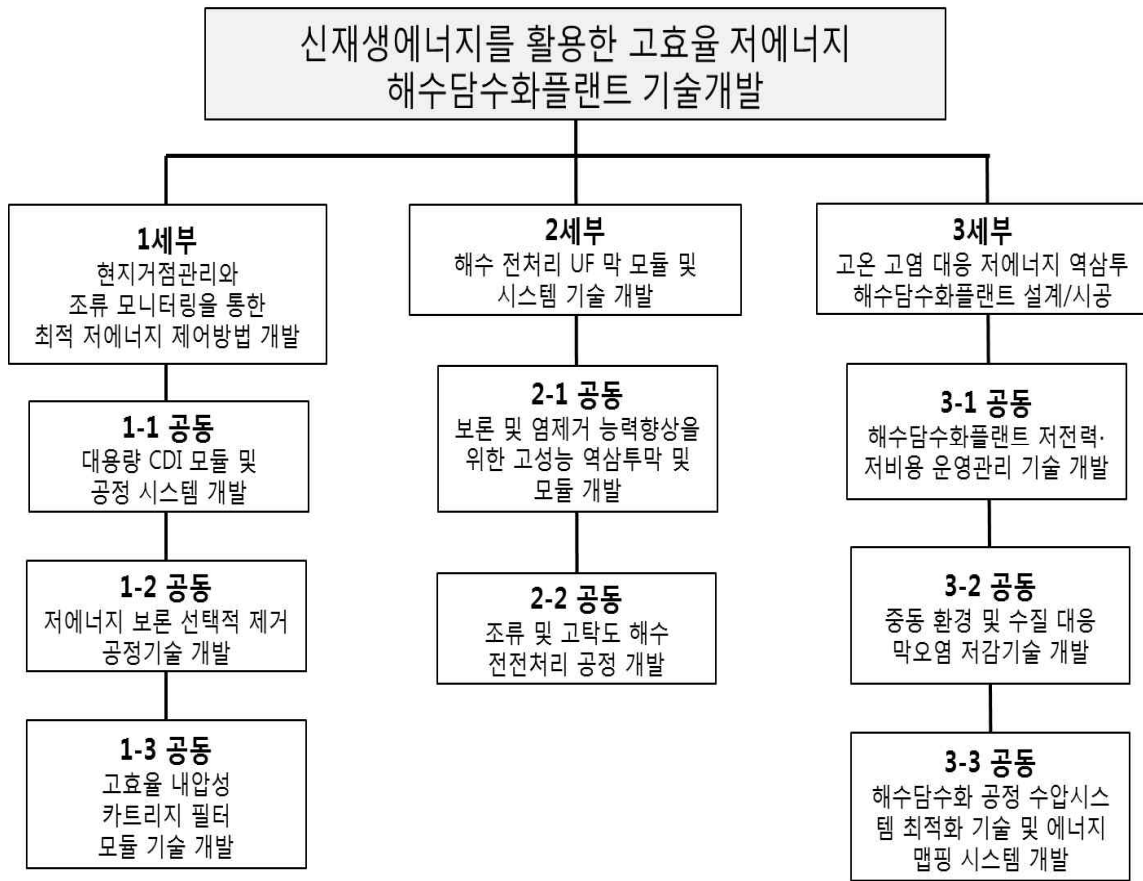


그림 106. 연구과제 추진체계

2. 각 세부과제별 연계성

가. 세부과제 간 연계성

- 1세부 과제는 연구과제 초기 마스다르와의 긴밀한 공조 협력 하에서 파일럿 사이트 및

운영 유틸리티 제공 등에 대한 중요한 협약을 이끌어 내야 하며, 파일럿 플랜트가 건설되어 정상운영이 가능해진 시점에는 에너지 사용량 및 효율에 대한 성능 점검을 마스다르와 공동으로 수행해야 함

- 1세부 과제는 마스다르 및 3세부 과제와 긴밀한 협력 관계를 유지하면서 파일럿 플랜트의 설계 및 시공이 원활하게 이루어질 수 있도록 양국 간의 네트워크 허브로서의 역할을 하여야 하며, Auxiliary line에 적용되는 1세부 공동연구과제 수행기관들로부터 개발한 기술이 향후 파일럿 플랜트에 현장 검증이 가능하도록 3세부와의 공조협력을 주도해야 함
- 또한, Gulf 만 해수 원수의 문제인 algae blooming에 대비하기 위해 모니터링 및 제어기술을 개발함으로써, 전체 에너지 사용량 목표인 3.3 kWh/m³을 달성할 수 있는 기반을 조성해야 함

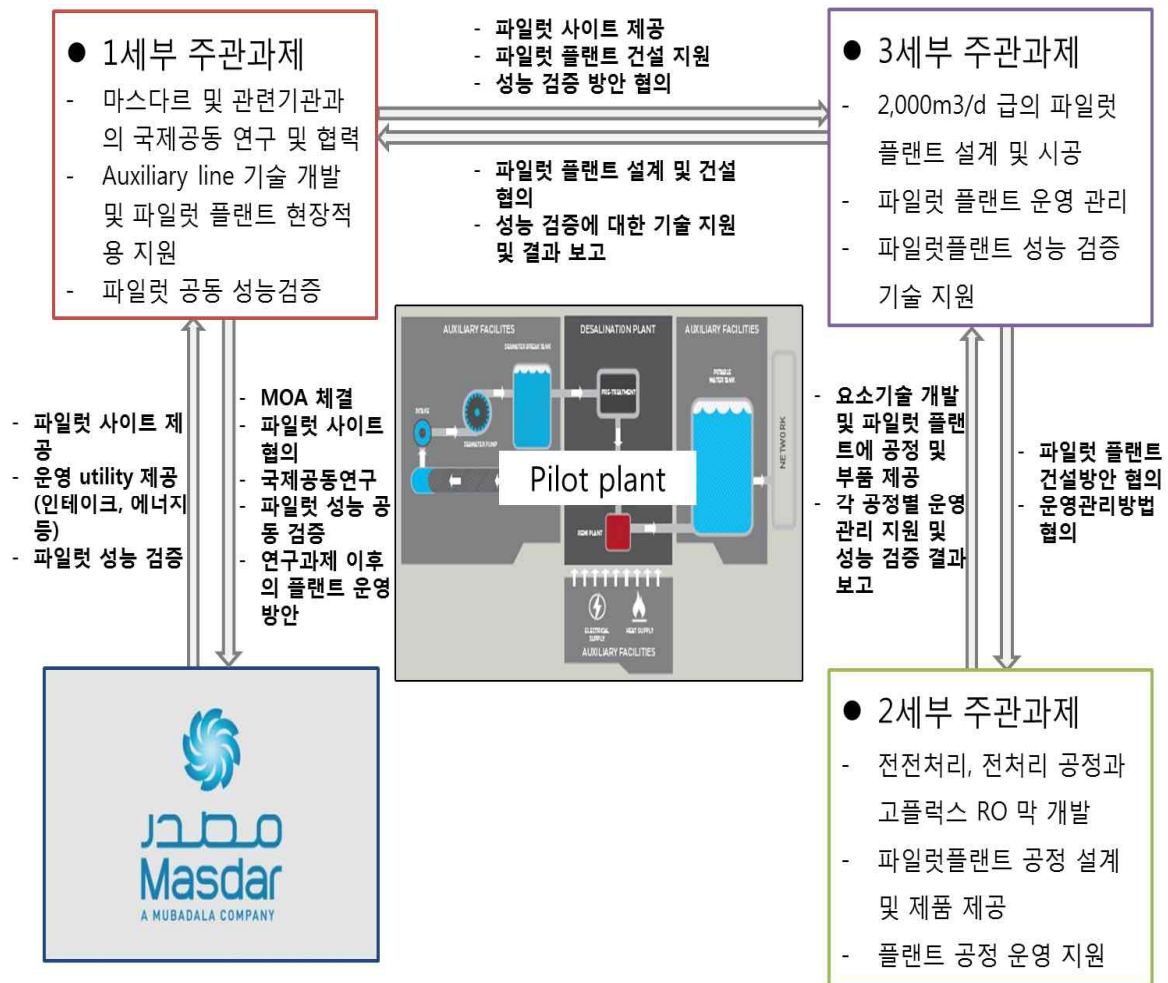


그림 107. 세부과제 간 연계성

나. 세부과제 및 공동과제 간 연계성

- 각 세부과제별로 구성된 개발 기술들은 모두 UAE 현지에 건설되는 파일럿 플랜트에 적용하여 성능을 검증 받는 것이 공통적인 최종 목표를 가지고 있음
- 파일럿 플랜트 현장적용은 크게 두가지로 나누어질 수 있는데, Main line과 Auxiliary line으로 구분됨

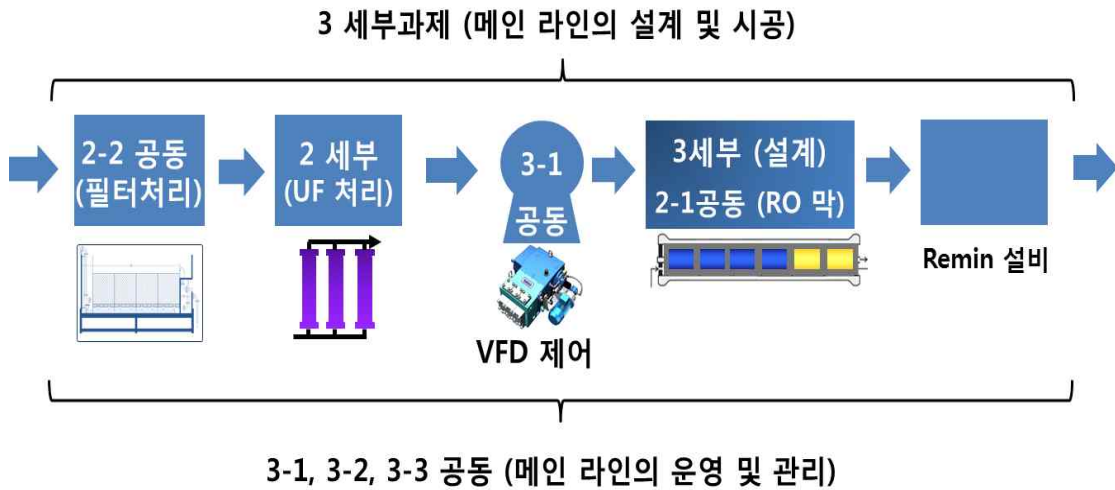


그림 108. Main line에 현장 적용되는 연구과제들

- Main line은 최종 연구 목표인 에너지 사용량 3.3 kWh/m³을 달성하기 위한 과제들로, 2-2 공동(전전처리), 2세부(전처리), 2-1 공동(역삼투막)과 같은 요소기술을 접목하여 3세부가 파일럿 플랜트를 설계 및 시공하게 되고, 3세부의 공동과제에서 개발된 기술들이 플랜트를 운영 관리하게 되는 연계성을 가지고 연구개발이 진행됨

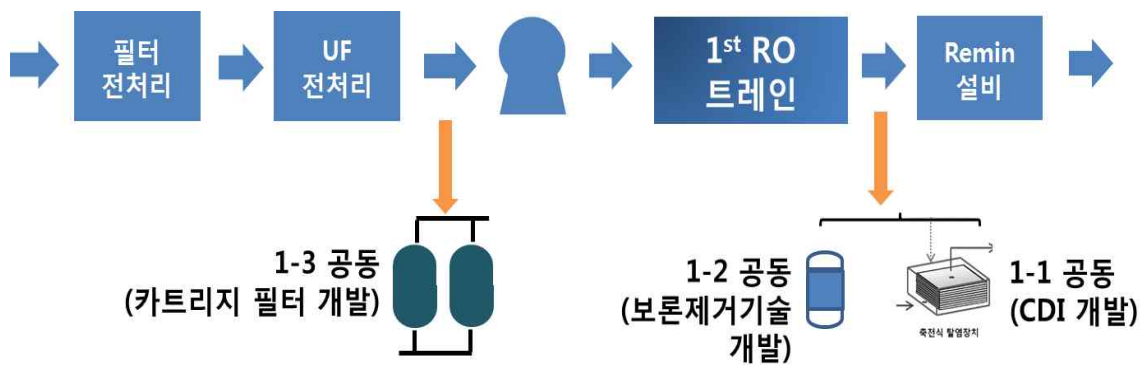


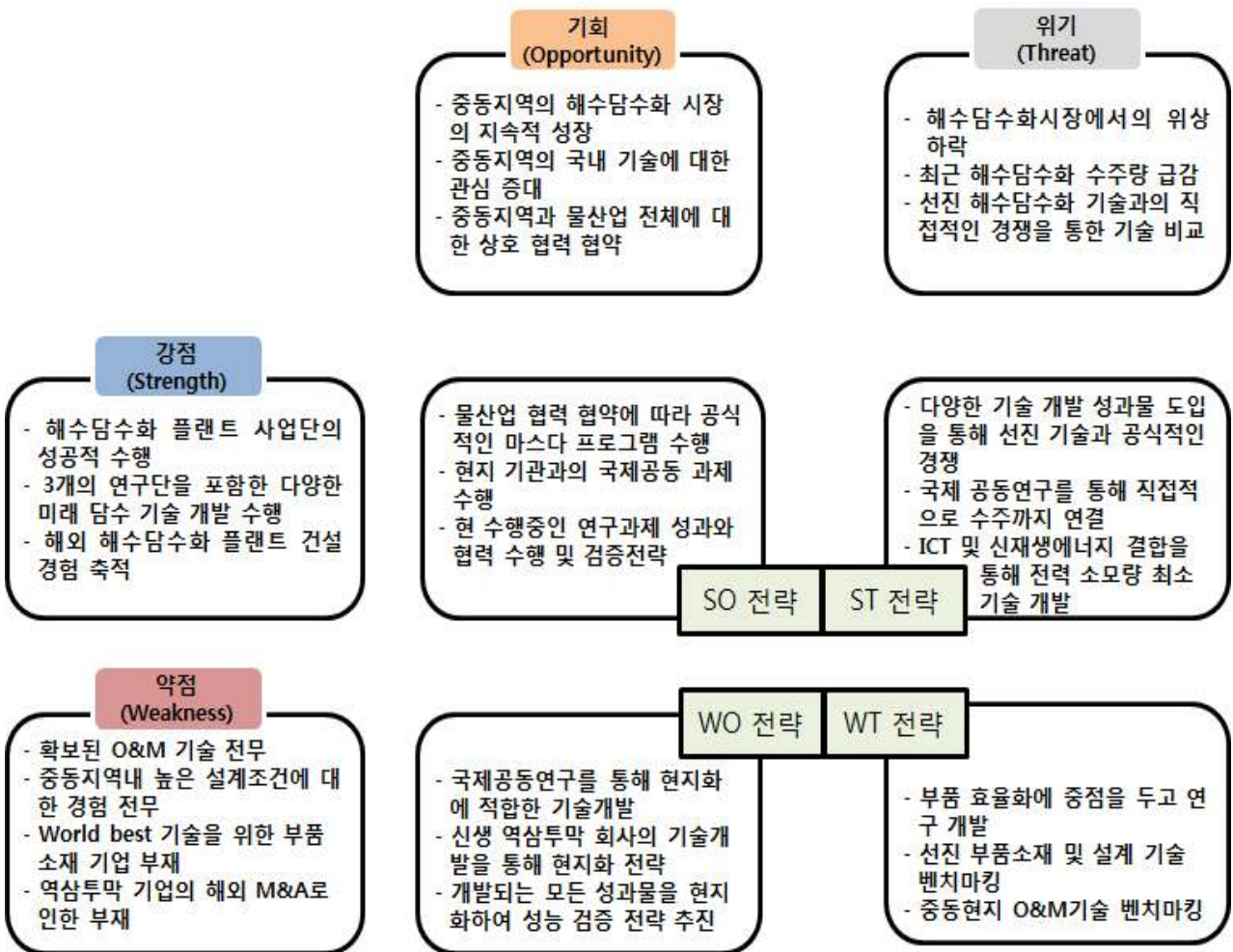
그림 109. Auxiliary line에 현장 적용되는 연구과제들

- Auxiliary line은 에너지 사용량 목표치보다 더 낮은 목표치가 가능한 선진 기술 (innovative technologies)과 안정적인 처리효율을 유도하기 위한 연구과제로서, 1-1 공동 (CDI)과 1-2 공동(보론제거기술)은 높은 TDS와 보론 제거가 가능하면서 RO 트레인의 2nd Pass를 대체할 수 있는 공정으로 현장 적용되며, 1-3 공동(카트리지필터)은 RO 고

압펌프를 보호하기 위한 목적으로 RO 트레인에 유입되기 전에 안정성을 확보하기 위해 현장 적용되어 성능이 검증됨

7절 기술/성과 로드맵

1. SWOT 분석



2. 연구개발 로드맵

- 본 연구과제의 총 연구기간은 4년(4차년도)이며, 연구기간 중 연구개발 로드맵은 그림 110-111과 같음

- 1차년도: 요소 기술 및 공정 개발
 - 기술 개발: 요소기술 및 공정에 대한 실험실 혹은 세미 파일럿 수준의 연구개발
 - 파일럿 플랜트: UAE 현지 수질에 맞는 개념 설계

- 2차년도: 파일럿 플랜트 Main line 건설
 - 기술 개발: 요소기술 설계인자 도출 및 부품을 제작하여 파일럿 플랜트 건설을 위해 지원하고, Auxiliary line에 들어가는 선진기술은 실험실 규모에서 연구개발을 진행
 - 파일럿 플랜트: 파일럿 플랜트의 Main line에 들어갈 공정을 우선적으로 설계 및 건설

- 3차년도: 파일럿 플랜트 운영 및 효율화, Auxiliary line 현장 적용
 - 기술 개발: 부품 및 공정과 같은 요소기술의 효율성을 높여 업그레이드함으로써, 파일럿 플랜트 적용이 가능한 수준으로 제품화하여 지원
 - 파일럿 플랜트: 파일럿 플랜트의 Main line 공정은 시운전 및 효율성을 높여 최적화하는 연구를 진행하고, Auxiliary line 공정은 파일럿 플랜트에 세미파일럿 규모로 설치함

- 4차년도: 파일럿 플랜트 최적 운전 및 성능 검증, 경제성 분석
 - 기술 개발: 요소기술이 효율성을 업그레이드하여 파일럿 플랜트 적용을 지속적으로 지원하고, 운영 및 최적화에 필요한 기술 고도화를 구축. 성능 검증된 기술은 상용화 단계로 진입
 - 파일럿 플랜트: 파일럿 플랜트의 Main line과 Auxiliary line 공정에 대한 안정적 운영 하에서 마스다르와 공동으로 현장 검증을 진행하여 최종 성능을 평가함. 또한, 100,000 m³/d 규모의 feasibility study를 수행하여 경제성을 평가함

	1차년도 (요소기술 개발)	2차년도 (파일럿 건설)	3차년도 (시운전 및 효율화)	4차년도 (운전 및 성능검증)
1 세부	<ul style="list-style-type: none"> - UAE와 MOA 체결, 파일럿플랜트 건설방안 협의, 파일럿플랜트 설치 지원 - 원수 내 조류 및 부산물 오염물질 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 조류 및 부산물 모니터링 시스템 제안 	<ul style="list-style-type: none"> - UAE와 파일럿플랜트 성능검증 방법 협의 - 조류 및 부산물 제어 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - UAE와 파일럿플랜트 공동 성능검증 및 향후 플랜트 운영방향 협의
2 세부	<ul style="list-style-type: none"> - 부품 및 공정 개발 및 성능 검증 - 양산설비 구축 및 공정 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 운전방법 프로그램 및 매뉴얼 구축 - 부품 및 공정 테스트 베드 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 파일럿 플랜트 시운전 및 기술 보완 - Auxiliary line 기술 현장 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 파일럿 플랜트 최적 운전 - 파일럿 플랜트 성능 검증 기술 지원
3 세부	<ul style="list-style-type: none"> - 파일럿플랜트 설계 및 엔지니어링 기술 개발 - 2,000m³/d 파일럿플랜트 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 2,000m³/d 파일럿플랜트 시공 		

그림 110. 세부과제 연구 로드맵

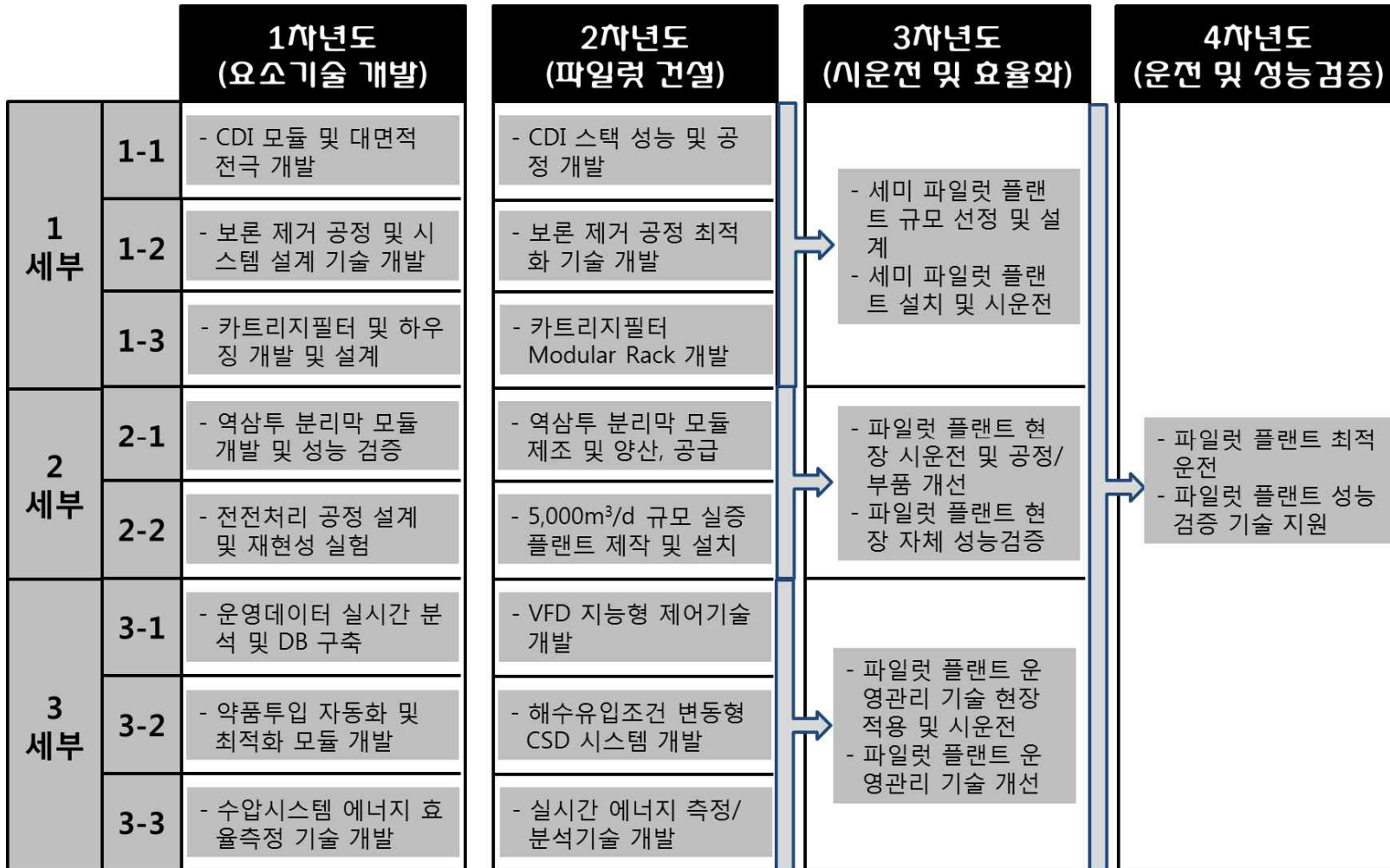


그림 111. 공동과제 연구 로드맵

제4장 자원투입 계획

1절 연구시설 및 장비 투입계획

1. 1세부 과제: 현지거점 관리와 조류 및 부산물 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발

(단위: 천원)

세부	세부기술명	수행연 도	연구시설 및 장비		시작품 제작		합계
			품명	소계	품명	소계	
1세부 과제	현지거점 관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발	1차년도	Pyrolyzer	40,000			40,000
		2차년도	LC-OCD	100,000			100,000
		3차년도					
		4차년도					
		소계				0	1,40,000
1-1 공동 과제	대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발	1차년도	CDI 테스트 장비	60,000			110,000
			파워서플라이	50,000			
		2차년도	이온교환막 제조장치	30,000			40,000
			컨트롤 기관	10,000			
		3차년도					
4차년도	CDI 테스트 장치	219,000			219,000		
소계			369,000			369,000	

1-2 공동 과제	저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발	1차년도			보론 제거용 IX 시스템	60,000	60,000
		2차년도			보론제거용 IX 시스템 BWRO 시스템 IX 재생설비	120,000	120,000
		3차년도			보론제거용 IX 시스템 보완설비 BWRO 시스템 보완설비 IX 재생설비 보완설비	40,000	40,000
		4차년도					
		소계				220,000	220,000
1-3 공동 과제	고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발	1차년도	Filter 및 하우징	42,000			42,000
		2차년도	Filter 및 하우징 생산설비	64,000	카트리지필터 제작 및 설치	80,000	144,000
		3차년도			카트리지필터 시스템 공정설비	110,000	110,000
		4차년도			카트리지필터 시스템 개선설비	70,000	70,000
		소계		106,000		260,000	366,000
합계				475,000		560,000	1,035,000

2. 2세부 과제: 해수 전처리 전용 저에너지 대용량 막 모듈 및 시스템 기술 개발

(단위: 천원)

세부	세부기술명	수행연 도	연구시설 및 장비		시작품 제작		합계
			품명	소계	품명	소계	
2세부 과제	해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	1차년도	UF 소재 및 모듈 개발	950,000			1,000,000
			성능 측정 장비	50,000			
		2차년도	UF 모듈 및 스킴 개발	900,000	UF 스킴 제작	500,000	1,420,000
			성능 측정 장비	20,000			
		3차년도			UF 시운전 및 공정 개선	400,000	400,000
		4차년도			UF 운전 및 운영 개선	240,000	240,000
소계		1,920,000		1,140,000	3,060,000		
2-1 공동 과제	보론 및 염제거 능력향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발	1차년도					
		2차년도			역삼투 막 시제품	120,000	120,000
		3차년도			역삼투 막 시제품	120,000	120,000
		4차년도			역삼투 막 시제품	240,000	240,000
		소계				480,000	480,000
2-2 공동 과제	조류 및 고탁도 해수 전처리 공정 개발	1차년도			모형 플랜트	100,000	100,000
		2차년도			현장플랜트 제작	760,000	760,000
		3차년도			현장플랜트 설치	55,000	55,000
		4차년도			현장플랜트 보완	40,000	40,000
		소계				955,000	955,000
합계				1,920,000		2,575,000	4,495,000

3. 3세부 과제: 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공

(단위: 천원)

세부	세부기술명	수행연 도	연구시설 및 장비		시작품 제작		합계
			품명	소계	품명	소계	
3세부 과제	고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	1차년도					
		2차년도			파일럿 플랜트 제작, 운반 및 시공	6,700,000	6,700,000
		3차년도			파일럿 플랜트 시설 보완	335,000	335,000
		4차년도					
		소계				7,035,000	7,035,000
3-1 공동 과제	해수담수화플랜트 저전력 저비용 운영관리 기술개발	1차년도	분석장비/DB 프로그램	300,000			300,000
		2차년도	DB 프로그램	30,000			30,000
		3차년도					
		4차년도					
		소계			330,000		
3-2 공동 과제	중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감기술 개발	1차년도	RO 멤브레인 테스트셀 장치	40,000			90,000
			Balance system/온도조절시스템 /COMSOL Software	50,000			
		2차년도					
		3차년도					
		4차년도					
소계			90,000			90,000	
3-3 공동 과제	해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발	1차년도					
		2차년도			AEMI 시스템	100,000	100,000
		3차년도			EMS 시스템	100,000	100,000
		4차년도			에너지 원격 진단 시스템	150,000	150,000
		소계				350,000	350,000
합계				420,000		7,385,000	7,805,000

2절. 인력투입계획

세부	세부기술명	수행연도	투입인원수	인건비	비고
1세부 과제	현지거점 관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에 너지 공정 제어 방법 개발	1차년도	1	7,980	
		2차년도	2	56,809	
		3차년도	2	56,809	
		4차년도	4	56,809	
		소계	9	178,410	
1-1 공동과제	대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발	1차년도	3	17,999	
		2차년도	3	17,998	
		3차년도	3	17,998	
		4차년도	3	17,999	
		소계	12	71,994	
1-2 공동과제	저에너지 보론 선택적 제거 공 정기술 개발	1차년도	5	108,648	
		2차년도	5	126,756	
		3차년도	5	97,783	
		4차년도	5	97,783	
		소계	20	430,970	
1-3 공동과제	고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발	1차년도	2	44,337	
		2차년도	2	59,117	
		3차년도	2	7,389	
		4차년도	2	7,390	
		소계	8	118,233	
2세부 과제	해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스 템 기술 개발	1차년도	1	11,999	
		2차년도	3	10,000	
		3차년도	4	50,249	
		4차년도	4	50,250	
		소계	12	212,498	
2-1 공동과제	보론 및 염계거 능력향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발	1차년도	14	170,016	
		2차년도	14	255,024	
		3차년도	14	212,520	
		4차년도	14	212,520	
		소계	56	850,080	
2-2 공동과제	조류 및 고탁도 해수 전처리 공정 개발	1차년도	5	123,160	
		2차년도	5	123,160	
		3차년도	4	147,792	
		4차년도	3	147,792	
		소계	17	504,956	
3세부 과제	고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화 플랜 트 설계/시공	1차년도	2	1,140	
		2차년도	4	9,360	
		3차년도	4	105,600	

		4차년도	2	4,500	
		소계	12	120,600	
3-1 공동과제	해수담수화 플랜트 저전력 저비용 운영관리 기술개발	1차년도	40	166,594	
		2차년도	40	188,323	
		3차년도	60	173,837	
		4차년도	60	130,377	
		소계	200	659,131	
3-2 공동과제	중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감기술 개발	1차년도	8	40,562	
		2차년도	11	110,748	
		3차년도	12	199,912	
		4차년도	11	118,716	
		소계	48	318,628	
3-3 공동과제	해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발	1차년도	8	120,384	
		2차년도	8	149,760	
		3차년도	8	149,760	
		4차년도	8	180,288	
		소계	32	600,192	
합계			426	4,065,695	

3절 소요예산 투입계획

1. 1세부 과제: 현지거점 관리와 조류 및 부산물 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발

(단위: 백만원)

세부	세부기술명	수행연도	정부출연금	기업부담금		합계
				현금	현물	
1세부 과제	현지거점 관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발	1차년도	340	51	289	680
		2차년도	700	105	595	1,400
		3차년도	700	105	595	1,400
		4차년도	600	90	510	1,200
		소계	2,340	351	1,989	4,680
1-1 공동과제	대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발	1차년도	500	75	425	1,000
		2차년도	500	75	425	1,000
		3차년도	500	75	425	1,000
		4차년도	700	105	595	1,400
		소계	2,200	330	1,870	4,400
1-2 공동과제	저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발	1차년도	300	45	255	600
		2차년도	400	60	340	800
		3차년도	250	38	212	500
		4차년도	250	38	212	500
		소계	1,200	181	1,019	2,400
1-3 공동과제	고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발	1차년도	136	20	116	272
		2차년도	850	128	722	1,700
		3차년도	127	19	108	254
		4차년도	87	13	74	174
		소계	1,200	180	1,020	2,400
합계			6,940	1,042	5,898	13,880

2. 2세부 과제: 해수 전처리 전용 저에너지 대응량 막 모듈 및 시스템 기술 개발

(단위: 백만원)

세부	세부기술명	수행연도	정부출연금	기업부담금		합계
				현금	현물	
2세부 과제	해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스 템 기술 개발	1차년도	1,350	203	1,147	2,700
		2차년도	1,950	293	1,657	3,900
		3차년도	670	101	569	1,340
		4차년도	570	86	484	1,140
		소계	4,540	683	3,857	9,080
2-1 공동과제	보론 및 염제거 능력향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발	1차년도	400	60	340	800
		2차년도	800	120	680	1,600
		3차년도	500	75	425	1,000
		4차년도	500	75	425	1,000
		소계	2,200	330	1,870	4,400
2-2 공동과제	조류 및 고탁도 해수 전처리 공 정 개발	1차년도	200	30	170	400
		2차년도	900	135	765	1,800
		3차년도	400	60	340	800
		4차년도	300	45	255	600
		소계	1,800	270	1,530	3,600
합계			8,540	1,283	7,257	17,080

3. 3세부 과제: 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화 플랜트 설계/시공

(단위: 백만원)

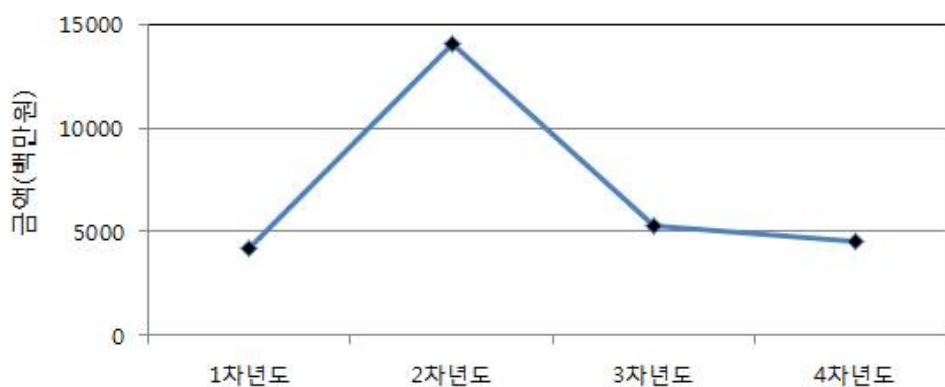
세부	세부기술명	수행연도	정부출연금	기업부담금		합계
				현금	현물	
3세부 과제	고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	1차년도	180	27	153	360
		2차년도	6,800	1,020	5,780	13,600
		3차년도	500	75	425	1,000
		4차년도	140	21	119	280
		소계	7,620	1,143	6,477	15,240
3-1 공동과제	해수담수화플랜트 저전력 저비용 운 영관리 기술개발	1차년도	200	30	170	400
		2차년도	500	75	425	1,000
		3차년도	700	105	595	1,400
		4차년도	900	135	765	1,800
		소계	2,300	345	1,955	4,600
3-2 공동과제	중동 환경 및 수 질 대응 막오염 저감기술 개발	1차년도	200	30	170	400
		2차년도	400	60	340	800
		3차년도	700	105	595	1,400
		4차년도	400	60	340	800
		소계	1,700	255	1,445	3,400
3-3 공동과제	해수담수화 공정 수압시스템 최적 화 기술 및 에너 지 맵핑 시스템 개발	1차년도	200	30	170	400
		2차년도	250	38	212	500
		3차년도	250	38	212	500
		4차년도	300	45	255	600
		소계	1,000	151	849	2,000
합계			12,620	1,894	10,726	25,240

4. 세부과제별 총 연구비 내역 (정부출연금)

(단위: 백만원)

세부	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
1세부	인건비	179	261	180	800	1,420
	연구장비 재료비	677	1,471	647	760	3,555
	기타경비 및 위탁연구비	420	718	750	77	1,965
	총 연구비	1,276	2,450	1,577	1,637	6,940
2세부	인건비	305	478	411	374	1,568
	연구장비 재료비	1,176	2,504	619	552	4,851
	기타경비 및 위탁연구비	469	668	540	444	2,121
	총 연구비	1,950	3,650	1,570	1,370	8,540
3세부	인건비	245	458	629	477	1,809
	연구장비 재료비	515	7,240	915	490	9,160
	기타경비 및 위탁연구비	20	252	606	794	1,651
	총 연구비	780	7,950	2,150	1,740	12,620
합계		4,006	14,050	5,297	4,747	28,100

연차별 총 연구비



제5장 과제공모 방안

1절 과제제안 요구서(RFP)

가. UAE 미래신도시 맞춤형 고효율 저에너지 해수담수화기술개발

연구개발과제명	UAE 미래신도시 맞춤형 고효율 저에너지 해수담수화기술개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구과제의 목표는 세계 최고 수준의 에너지 사용량인 3.3 kWh/m³ 성능을 달성하기 위한 해수담수화플랜트를 건설 ○ UAE 현지 물값(1.5\$/m³) 대비 10% 저감 ○ 에너지 사용량 목표를 달성하기 위해 개별 요소기술(부품 및 공정) 개발 및 설계/시공/운영관리에 대한 원천기술 개발 ○ 세계 최대의 해수담수화플랜트 기술 수요국 중 하나인 UAE 현지에 RO 생산수 기준 2,000 m³/d 급의 파일럿 플랜트 건설하여 총 운전기간 18개월동안 UAE 마스다르와 공동으로 성능을 평가
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	<p data-bbox="167 1279 336 1368">□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 2015년 3월 박근혜 대통령의 중동 4개국 순방 중 한국의 물산업에 대한 한-UAE 양국 간 연구협력이 논의되었으며, 다양한 물산업 중에서 해수담수화 플랜트 분야가 포함됨 ○ 중동시장은 세계 최고 기술을 보유한 다국적 기업 경쟁의 장으로 현재 보유한 기술만으로는 경쟁력 약화가 예상됨 ○ 이에 현재 해수담수화 기술을 한 단계 업그레이드할 뿐만 아니라 세계 최고의 에너지 효율성을 확보할 수 있는 기술에 대한 R&D 계획 수립이 필요함 ○ 또한 에너지 저감과 관련하여 또 다른 방향으로 탄소저감을 위한 신재생에너지 활용 기술이 부각되고 있음. 현 중동지역을 중심으로 태양에너지를 활용한 발전기술이 향상되고 있는바, 이에 발맞추어 신재생에너지와 해수담수화를 연계할 수 있는 기술 개발 또한 필요함

□ 기술 동향

- 국내 기술력은 증발식 중심으로 형성되었을 때 세계 선두권의 경쟁력이 있었으며, 현재도 두산 중공업을 중심으로 증발식 분야에서 선두권 유지
- 역삼투 방식에 있어 국내 기술력은 세계 중위권 수준으로 가장 대표적으로 국내 에너지 소모량은 3.8-4.0 kWh/m³ 수준이며, 생산수단가는 0.92 \$/m³ 내외로 0.75 \$/m³의 수준과는 거리가 존재
- 현재 해수담수화 연구는 에너지 저감이라는 키워드를 중심으로 활발하게 기술 개발 중이며, 3-5 kWh/m³의 수준에서 플랜트가 운영 중에 있음
- 해수담수화 시장에서의 경쟁력 강화를 위해서는 에너지를 저감하기 위한 기술개발은 필수적이며, 신공정 개발, 부품소재 개발, 설계 및 O&M 기술개발 등과 함께 ‘신재생에너지 융합 해수담수화 기술 개발’에 상당한 관심이 집중되고 있음
- 에너지 저감은 현재 수준의 3.5-4.0 kWh/m³ 수준을 시장에서 요구되는 3.5 kWh/m³ 이하로 낮추기 위해서 신재생에너지 활용전략이 필요

3. 연구개발내용

□ 세부과제
별 연구내용

[1세부과제]

- 현지거점관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발
 - 마스다르 및 관련 기관과의 국제 공동연구 및 협력을 중심으로, 연구목표인 3.3 kWh/m³을 달성여부를 파악하여 파일럿 플랜트의 성능을 검증하고, 조류 모니터링을 통해 플랜트 공정에 미칠 수 있는 영향을 분석하고 이를 제어할 수 있는 방법을 개발
 - UAE 현지 플랜트의 Auxiliary line에 들어가는 기술 개발을 주관하는 과제로서, 공동 연구과제는 다음과 같음
 - 대용량 CDI 모듈 및 공정 개발
 - 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발
 - 고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발

[2세부과제]

- 해수 전처리용 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발
 - 고효율 고프러크스 해수 전처리 전용 저에너지 대용량 막모듈과

스키드를 설계하여 RO 기반 해수담수화플랜트 전처리 공정을 개발하는 과제로서, 막 모듈 및 스키드의 설계 및 엔지니어링 기술을 개발

- UAE 현지 플랜트의 Main line에 들어가는 요소기술(부품 및 공정) 개발을 주관과제로서, 공동 연구과제는 다음과 같음
 - 초고성능 역삼투막 모듈 제조 기술 개발
 - 조류 및 고탁도 해수 전처리 공정 개발

[3세부과제]

- 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화 플랜트 설계/시공
 - 해수담수화플랜트 설계/시공 및 O&M 관련 연구과제로서, UAE 현지에서 1세부 과제와의 공조 체제하에 2세부 과제의 요소기술을 접목하여 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트를 건설하고 운영하기 위한 설계/시공/O&M 기술 개발
 - UAE 현지 플랜트의 Main line에서 성능 검증을 수행하는 운영관리 관련 연구과제로서, 공동 연구과제는 다음과 같음
 - 해수담수화플랜트 저전력·저비용 운영관리 지능형 플랫폼 기술 개발
 - 중동 환경 대응 막오염 저감기술 개발
 - 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진 전략

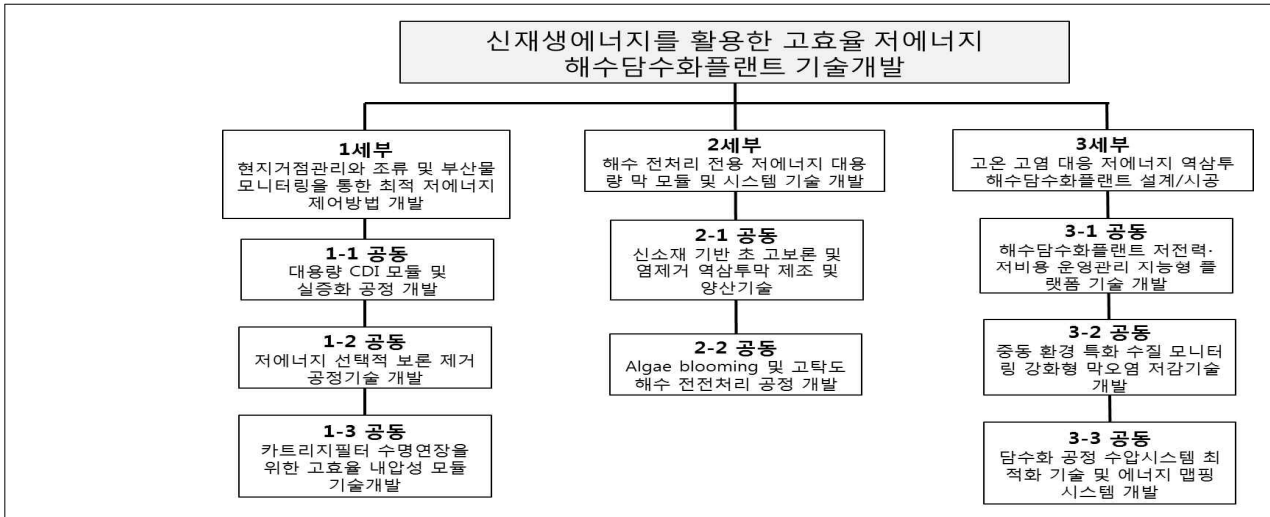
- 연차별 추진전략
 - 1차년도: 요소 기술 및 공정 개발
 - : 요소기술 및 공정에 대한 실험실 혹은 세미 파일럿 수준의 연구개발
 - : UAE 현지 수질에 맞는 개념 설계
 - 2차년도: UAE 현지 플랜트 Main line 건설
 - : 요소기술 설계인자 도출 및 부품을 제작하여 UAE 현지 플랜트 건설을 위해 지원하고, Auxiliary line에 적용되는 선진기술은 실험실 규모에서 연구개발을 진행
 - : UAE 현지 플랜트 Main line에 적용될 공정을 우선적으로 설계 및 건설

- 3차년도: UAE 현지 플랜트 운영 및 효율화, Auxiliary line 현장 적용
 - : 부품 및 공정과 같은 요소기술의 효율성을 높여 업그레이드함으로써, 플랜트 적용이 가능한 수준으로 제품화하여 지원
 - : UAE 현지 플랜트의 Main line 공정은 시운전 및 효율성을 높여 최적화하는 연구를 진행하고, Auxiliary line 공정은 현지 플랜트에 세미 파일럿 규모로 설치함
 - : UAE 현지 플랜트를 6개월 간 시운전하고, 18개월 간 정상운전을 수행

- 4차년도: UAE 현지 플랜트 최적 운전 및 성능 검증, 경제성 분석
 - : 요소기술이 효율성을 업그레이드하여 UAE 현지 플랜트 적용을 지속적으로 지원하고, 운영 및 최적화에 필요한 기술 고도화를 구축
 - : 성능 검증된 기술은 상용화 단계로 진입
 - : UAE 현지 플랜트의 Main line과 Auxiliary line 공정에 대한 안정적인 운영 하에서 3차년도에 이어 마스다르와 공동으로 성능 평가를 수행하여 최종 성능 평가 보고서 제출
 - : 100,000m³/d 규모의 feasibility study를 수행하여 사업타당성 보고서를 제출함

□ 추진 체계

- 모든 세부 및 공동 연구과제별로 수행해야 하는 요소 기술 및 설계/시공 기술을 개발하여 UAE 현지 플랜트 건설과 성능검증을 위해 협력 연구를 진행함
- UAE 현지에 플랜트를 건설하고 성능 검증을 하는 것이 목표이므로, UAE 유관기관(마스다르 등)과의 연구협력이 중요하며, 이를 위한 공동연구를 진행함
- UAE 현지 플랜트에서 성능 검증이 완료된 요소기술 및 플랜트 설계/시공 기술에 대해 UAE 유관기관과 협의하여 향후 중동지역 수출방안을 마련함
- 본 연구과제의 추진체계는 다음과 같음



5. 최종성과물

□ 주요 [1세부과제]

최종성과물

- 현지거점관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발
 - UAE 현지 플랜트 공정별 조류 영향성 데이터베이스
 - 적조 발생시 최적 저에너지 조류 제어 매뉴얼 구축
 - 저에너지 고효율 신재생에너지-해수담수화 UAE 현지 플랜트 현장 검증 보고서
 - TDS 제거율 90% 이상의 원통형 CDI 모듈 적용 시스템
 - 보론 선택적 제거 공정 설계 기술 및 시스템
 - SWRO 및 고압펌프 수명연장을 위한 카트리지 필터, 하우징, Modular Rack 설계 기술 및 시스템

[2세부과제]

- 해수 전처리용 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발
 - 세계 최고 수준의 투과플럭스 및 에너지 사용량이 가능한 해수 전처리용 UF 모듈, 공정, 엔지니어링 기술 및 운영 프로그램
 - 초고성능 역삼투 분리막 및 엘리먼트 개발
 - 고효율 저에너지 신개념 전처리 설계 기술 및 시스템

[3세부과제]

- 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화 플랜트 설계/시공
 - 신재생에너지 활용 해수담수화플랜트 설계 및 시공 기술

- 해수담수화시설의 신재생에너지 Interface 기술
- 저전력·저비용 기반의 해수담수화 운영 최적화 프로그램 및 기법
- VFD 지능형 제어장치 및 로직 패키지
- 바이오과울링 제어용 막세정제 및 운영 소프트웨어 개발
- 해수담수화플랜트 수압시스템 설계 매뉴얼 및 소프트웨어
- 해수담수화플랜트 에너지 맵핑 및 원격진단 지원 시스템

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용 방안

- 세계 최고 수준의 저에너지 해수담수화플랜트의 요소기술은 모두 기업 중심으로 개발되기 때문에 과제 종료 후 바로 상용화가 가능한 기술들이기 때문에 국내 기술의 해외 수출이 가능함
- 본 연구과제는 해수담수화 특성 상 기술 수요국이 해외 시장을 목표로 한다는 점에서 기존 연구과제와는 다르게 테스트베드를 UAE 현지에 건설하는 바, 향후 추진되는 해수담수화 연구과제의 방향성을 제시할 수 있으며, 해외 수출을 촉진하기 위한 매뉴얼로 활용될 수 있음
- CDI 공정 및 보론 제거 공정은 해수담수화플랜트 기술에서 미래지향적 기술로서, 실증화에 성공하게 되면 전세계 해수담수화 시장을 선도할 수 있는 기반 기술로 활용
- 카트리지필터 및 UF 막 모듈, 초고성능 RO 막은 세계 최고 수준의 기술력 확보가 가능하기 때문에 연구개발 후 세계 해수담수화 시장 점유가 가능하며, 해수담수화 시장 뿐만 아니라 물 재이용을 위한 시장에서도 활용이 가능함

□ 기대 효과

- 신성장 동력 창출 효과
 - 2020년 이후 세계시장의 10%를 점유하는 경우 약 6억 \$/year의 수주가 가능하며, 이에 따른 매년 성장시 향후 10년간 60억\$ 규모 이상의 성장동력원이 될 수 있을 것으로 기대
 - 중동지역의 기술 및 시장동향에 부합하는 과제를 기획/발굴함에 따라 기술수요국을 포함한 유사 지역의 시장진입에 있어서 교두보를 제공
 - 현재 포화상태인 국내 일자리를 국외 일자리까지 확대하는 효과로 인한 건강한 청년 일자리 창출을 기대
 - 중동지역을 대상으로 한 기술개발 및 테스트베드 설치로 인해 국가 R&D의 성과가 공격적인 마케팅으로 연결됨으로써, 건설수

주로 직결될 수 있음을 입증

- 국가 대 국가의 기술 전략적 제휴관계 하에서 기술검증 및 건설 수주를 통해 국익 창출 기회 확보 및 국가 R&D가 사회에 직접적으로 기여할 수 있는 방안을 제시

○ 경제적 기대효과

- 30 MIGD(136,380 m³/d)용량 규모의 그린 담수화 플랜트를 2년에 걸쳐 한 개씩만 수주한다고 가정하더라도, 매년 1200억의 수주 효과가 기대
- 본 과제에서 개발한 기술을 적용하여 약 10%의 원가 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되며, 이 경우 매년 120억원의 경쟁력을 확보하는 것으로 볼 수 있을 것임

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2016. 6. ~ 2020. 5. (4년)

- 1차년도 연구개발 기간 : 2016. 6. ~ 2017. 5. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 28,100백만원 내외

- 1차년도 정부출연금 : 4,206백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지

않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구 개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구 개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제 별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거 자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

나. 1세부 과제

세부과제명	현지거점관리 및 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어 방법 개발
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 설치 및 성능검증을 위한 국제공동연구 거점 관리 - UAE 현지 해수의 적정 모니터링 및 파일럿 플랜트 각 공정의 조류 거동파악과 데이터베이스 구축에 따른 최적 제어 방안 도출
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. UAE 현지 거점 관리 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 설치를 위한 국내외 기관 공조 및 협약 체결 - 2,000 m³/d 급 UAE 현지 플랜트 성능검증 등에 대한 국제 공동 연구 - UAE 현지 플랜트 운전방법 및 관리 - UAE 유관기관과의 현지 플랜트 성능 검증 매뉴얼 구축 및 공동 연구 - 저에너지 고효율 신재생에너지-해수담수화 시설의 현장 검증 결과 보고서 제출 2. UAE 현지 해수에 함유된 조류 모니터링 및 공정별 데이터베이스 구축 <ul style="list-style-type: none"> - Gulf 만의 고농도의 조류 특성을 고려하여 공정에 손상을 줄 수 있는 물질에 대한 연간 원수 농도 변화와 플랜트 영향성 조사 - UAE 현지 플랜트에 대한 사전 모델링을 통해 조류 농도 변화가 공정에 미치는 에너지 소모 분석 - 조류에 대한 UAE 현지 플랜트 원수 및 공정수 분석 - BGA-PE와 같은 조류 센서 설치 등을 통한 모니터링 시스템 제안 - 적조에 따른 조류의 최저, 평균, 최고 유입농도에 대한 최적 제어 방안 3. 요소 기술 개발에 대한 국내 성능 검증 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 세부 및 공동과제에서 개발하는 모든 요소기술에 대한 UAE 현지 플랜트 현장 적용 가능성 파악을 위한 국내에서의 성능 검증을 관리함으로써, 모든 과제의 진도를 관리
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도: UAE 현지 플랜트 설치를 위한 공조체계 구축 및 원수 내 조류 오염물질 분석 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 장소 선정 등 국내외 기관들의 협의체 구축 및 협약 체결 - UAE와의 국제공동연구를 위한 연구협약 체결 - UAE 현지 플랜트 대상지역의 조류 농도 파악을 위한 유입 원수 분석 및 플랜트 영향성 조사 - 조류에 의한 해수담수화 공정 사전 모델링 및 영향도 분석 - 모든 과제의 기술개발 및 성능 검증을 위한 진도 관리 2. 2차년도: UAE 현지 플랜트 설치 및 조류에 대한 모니터링 시스템 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 각 공정별 UAE 현지 플랜트 설치를 위한 연구결과 및 경과 점검 - 조류 제어를 위한 기술 제안 - 조류 파악을 위한 센서 설치 및 모니터링 시스템 구축 제안 - 모든 과제의 기술개발 및 성능 검증을 위한 진도 관리 3. 3차년도: UAE 현지 플랜트 시운전 지원 및 조류 제어기술 구축방안

	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 시범 운전 및 각 연구기관별 문제점 보완 점검 - 고농도의 조류 농도에 따른 공정 영향성 파악 및 제어기술 제안 - 18개월 간의 UAE 현지 플랜트 정상운전 개시 관리 및 감독 - 모든 과제의 기술개발 및 성능 검증을 위한 진도 관리 <p>4. 4차년도: UAE 현지 플랜트 성능점검 및 조류 제어기술 운영</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAE 유관기관과의 현지 플랜트 성능 공동 검증 및 결과 보고서 제출 - 조류 제어기술 운영을 통한 UAE 현지 플랜트 효율성 분석 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 공정별 조류 영향성 데이터베이스 - 적조발생시 최적 저에너지 조류 제어 매뉴얼 구축 - BGA-PE와 같은 조류 센서를 활용한 모니터링 시스템 구축 - 저에너지 고효율 신재생에너지-해수담수화 UAE 현지 플랜트 현장 검증 보고서 - UAE 공동연구를 통한 사업 타당성 검토 보고서 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구	분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	비고	
연차별 연구비	정 부	340	700	700	600	2,340		
	민 간(추정)	340	700	700	600	2,340		
	합 계	680	1,400	1,400	1,200	4,680		
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 단순한 연구개발이나 국내 테스트베드 설치 수준이 아닌 기술 수요국에 직접 플랜트를 설치함으로써, 새로운 수출 전략 마련 - 조류 발생이 심각한 중동지역에서 조류 모니터링 및 제어 기술 검증을 통해 중동 지역에 플랜트 운영 시 발생하는 공정 문제 저감 - 향후 개발되는 기술에 대해서도 중동지역에 테스트베드를 설치할 수 있는 매뉴얼 및 노하우 제공 - 해수담수화 기술수요국과의 연구공조를 통한 해수담수화플랜트 현장 검증으로 국내 기술의 중동지역 수출 촉진 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화플랜트사업단과 같이 테스트베드를 설치하고 현장 검증했던 사례를 기반으로 UAE 현지 플랜트 설치에 활용 - 본 과제 내 막을 사용하는 전처리 및 RO 공정의 운영관리 기술과 공조하여 원수 내의 조류 농도 모니터링 및 제어 효과에 따른 영향을 분석 							

다. 1-1 공동 과제

세부과제명		대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발
□ 목표 및 내용		
목표		<ul style="list-style-type: none"> - 2nd Pass 대체용 CDI 원통형 (내경 4인치/폭 12인치) 모듈 및 시스템 개발 (시스템 처리용량 100 m³/d) - 유입 TDS 1,000 mg/L 기준 제거율 90% 이상 - CDI 전력소모량 : 0.40 kWh/m³ - CDI 전극 및 이온교환막 수명 18개월 이상
주요 연구내용		<ol style="list-style-type: none"> 1. 모듈 및 시스템 개발 <ol style="list-style-type: none"> (1) 고내구성 원통형 CDI 전극 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 메조기공 탄소(그래핀+페커피분말+활성탄) 대용량 생산기술: 1,000 g/batch - 고효율 탈염 성능 전극 개발: 18 mg/g (세계 최고수준: 15 mg/g) - 탄소전극 대면적화 기술: 폭 12인치 전극 연속생산 (2) 초박막 CDI 용 이온 교환막 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고성능 이온교환용량 > 1.3 meq/g - 막저항 < 1.5 Ωcm² (3) 저에너지 소모형 전원 공급 장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> - CDI PMS 제어 최적화: 총 전력 소모량 0.40 kWh/m³ 이하 (CDI 모듈 0.6 kWh/m³의 75% 전력회수, CDI BOP 전력: 0.25 kWh/m³) - 전력회수 극대화 집전체 기술개발 (4) 100 m³/d CDI 시스템 운전 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 원통형 모듈로 구성된 100 m³/d CDI 시스템 구축 - 주요 운전조건 (인가전압, 작동온도 및 압력, 방향성) 최적화 - 무약품 시스템/모듈 재생(cleaning) 기술 개발 2. CDI 원통형 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 원통형 CDI 모듈 설계 및 제작 기술 개발 - 전극 크기, 직렬/병렬 전원 인가방식에 따른 모듈 성능 최적화 TDS 제거율 > 90% (유입수 TDS 1,000 mg/L 기준) - 원통형 모듈 스택킹 기술 개발
□ 추진계획 및 성과		
추진계획		<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도 : 모듈 및 대면적 전극 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 원통형 CDI 모듈 구조 설계 및 제조 기반 설비 구축 - 전극 크기에 따른 CDI 모듈 성능 평가 2. 2차년도 : 모듈/스택 성능 및 내구성 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 모듈 스택킹 기술 개발 - 원통형 CDI 모듈/스택 운전 3. 3차년도 : 모듈 및 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 100 m³/d 급 CDI 공정 현지 파일럿 설계 및 제작 - 시스템 조건별 운전 및 성능 분석 4. 4차년도 : 현지 파일럿 설치 및 현장 검증

	<ul style="list-style-type: none"> - 원통형 CDI 테스트 시스템 연속 운전 및 신뢰성 평가 - 원통형 CDI 테스트 시스템 O&M 최적화 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 원통형 CDI 모듈 적용 시스템 (100 m³/d) - TDS 제거율 90% 이상인 원통형 CDI 모듈/스택 - 탈염성능 >18 mg/g인 대면적 전극 - 이온교환용량 >1.3 meq/g과 막저항 < 1.5 Ω cm²인 이온교환막 - 원천특허 3건 등록 (KPEG 평가결과 A등급 이상 / 해외 개별국가 등록까지 10건으로 확대) 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
	구 분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도		소계	비고
연차별 연구비	정 부	500	500	500	700		2,200	
	민 간(추정)	500	500	500	700		2,200	
	합 계	1,000	1,000	1,000	1,400		4,400	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 2nd Pass 대체 기술로 적용하기 위한 실증화 기술 개발 - 저전력 수처리 기술 개발을 통한 차세대 해수담수화 기술 개발 - 고효율 전극 및 이온교환막 개발을 통해 유사 에너지 소비형 환경기술 개척 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 고도산화 수처리 (EAOP) 기술 - 상수 소독 기술 - 초순수 제조 기술 - 화학에너지저장 (CHESS) 기술 							

라. 1-2 공동 과제

세부과제명	저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	세계최고 수준의 저에너지 RO담수화 기술 개발을 위한 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지사용량 0.1 kWh/m³ 이하의 보론 제거 공정기술 개발 - RO 생산수의 보론 농도 2.4 mg/L 대비 0.5 mg/L 이하의 생산 수질 확보가 가능한 보론 제거 공정기술 개발
주요 연구내용	1. 저에너지 보론 선택적 제거 공정 및 시스템 설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) 해수담수화시 보론 제거 공정의 현황분석 <ul style="list-style-type: none"> - 보론 선택적 제거용 수지 재생 성능 비교분석 - 전세계 대표적 해수담수화 플랜트의 보론 제거 공정의 비교분석 (2) 해수담수화를 위한 보론 선택적 제거 공정 및 시스템의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 보론 선택적 제거 공정 및 시스템의 핵심설계 기술 개발 - 보론 선택적 제거 시스템의 설계 및 제작 (용량 24 m³/day 이상(실증화가 가능한 성능 검증 규모 고려), 에너지사용량 0.1 kWh/m³ 이하, 생산수 보론농도 0.5 mg/L 이하) (3) 저에너지 보론 선택적 제거를 위한 운전조건 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 보론 선택적 제거를 위한 운전조건 최적화 - 보론 선택적 제거 시스템의 운전자동화 기술 개발 - 수지 재생 최적화기술 개발 - 보론 선택적 제거 공정의 경제성 평가 2. BWRO공정(2nd Pass용)과 보론 선택적 제거 공정의 조합공정 최적화기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 사용량과 수질(TDS, 보론) 등의 요구조건 맞춤형 조합공정 설계기술 개발 - BWRO와 보론 선택적 제거 공정의 성능(에너지, 처리수질) 비교실험 - 조합공정의 성능 및 경제성 분석 - 유입수 조건 변화에 대응이 가능한 조합공정의 운전조건 가변형 설계 3. 현지 파일럿 설치 및 성능 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 현지 파일럿 설치 및 검증을 위해 전체공정과 연계한 설계 - 개발된 보론 선택적 제거 시스템의 현지 파일럿 설치 및 성능검증 - 저에너지 보론 선택적 제거 시스템의 설계 및 운전 최적화
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	1. 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 현지 수질 및 설계 요구조건 분석 - 보론 선택적 제거용 수지 재생 성능분석 - 보론 선택적 제거 공정 및 시스템의 기본 설계기술 확보 2. 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 24 m³/day 급 보론 선택적 제거 시스템의 핵심 설계기술 확보 - 24 m³/day 급 보론 선택적 제거 시스템의 제작

	<ul style="list-style-type: none"> - 운전조건(유입농도, 유량 등)에 따른 성능 분석 - 보론 제거용 BWRO와 보론 선택적 제거 수지 공정의 실험적 성능 비교 <p>3. 3차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 보론 선택적 제거 시스템의 운전조건 최적화 - 저에너지 보론 제거를 위한 운전조건 도출 - 보론 선택적 제거용 수지의 재생 기술 최적화 - 보론 선택적 제거 공정의 경제성 분석 <p>4. 4차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발 시스템의 현지 파일럿 설치 및 검증 - 타공정(BWRO, CDI 등)과 비교를 통한 경제성 평가 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> -보론 선택적 제거 시스템 -보론 선택적 제거 공정 및 시스템의 설계 기술 -보론 선택적 제거 공정의 효율향상과 관련된 상용화 특허 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
	구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		소계	비고
연차별 연구비	정 부	300	400	250	250		1,200	
	민 간(추정)	300	400	250	250		1,200	
	합 계	600	800	500	500		2,400	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 고부가가치 초 저에너지 해수담수화 공정 개발의 핵심 기술 확보 - 설계 요구조건에 따라 공정구성의 다양화가 가능한 포트폴리오 기반 확보 - 역삼투 방식의 담수화공정에서 보론 선택적 제거공정의 최적 활용을 통한 시너지 효과 증대 - 설계 및 운전 공정최적화를 통한 기술적, 경제적 우위의 해수담수화공정 확보 - 세계의 유명 담수화설계 업체와 경쟁이 가능한 기술경쟁력 확보 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 3세부과제와 처리수 수질 정보 및 처리수 활용 (1st Pass의 처리수를 보론 제거공정의 유입원수로 사용. 따라서 UAE 현지 플랜트 파일럿 설치 시 1st Pass 후단에 연결이 가능하도록 설계 시 반영) - CDI 기술과 성능비교 (보론 제거 성능 비교) 							

마. 1-3 공동 과제

세부과제명	
고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발	
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - Feed pump 압력(평균 4bar) 대비 기존 카트리지 필터 차압(0.8bar) 기준 평균 교체 주기 1.5배 이상 향상 - 8"*50" 이상의 해수담수화 전용 필터 개발 및 국산화 - UF 기반 전처리와 연계하여 역세 및 UF 막 손상에서 발생하는 이물질로부터 펌프 및 역삼투막을 보호하기 위한 공극 5um 이하의 pleated type filter 개발 - 기존 하우징 크기의 50% compact 화
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 내구성 및 내압성이 유지되면서 경제적인 카트리지 필터 및 하우징 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저비용 재질이면서 내구성이 향상된 카트리지 필터 제조 및 실험 - 교체의 용이성과 내압성에 강한 카트리지 필터 하우징 제작 및 실험 2. 해수담수화 전용 카트리지 필터 Modular Rack 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 8"*50" 이상의 해수담수화 전용 카트리지 필터에 맞는 모듈 설계 - 해수담수화에 안정성이 보장된 카트리지필터 Modular Rack 설계 - UAE 현지 플랜트에 적용될 카트리지 필터 Modular Rack 제작 및 시험 테스트 3. UAE 현지 플랜트 설치 및 운전 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트에 실증화 시설로의 검증을 위해 RO 생산수 기준 1,000 m³/d 규모의 Modular Rack 설치 및 시운전 - 현지 상황에 최적화된 Modular Rack 보완 및 보수 - UAE 현지 플랜트 정상 운전 및 성능 검증 4. Modular Rack 개선 및 상용화 제품 생산 <ul style="list-style-type: none"> - 중대형 플랜트에 적합한 Modular Rack 개선 및 설계 - 상용화가 가능한 Modular Rack 제작 및 기술 상용화
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	<p>1차년도: 내구성 및 내압성이 유지되면서 경제적인 카트리지 필터 및 하우징 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저비용/수명연장형 카트리지 필터 제조 및 실험 - 교체가 용이하고 경제적인 카트리지 필터 하우징 설계 - 시험 제작 및 테스트 - 고플럭스 실증 플랜트 규모 Modular Rack 설계 <p>2차년도: 해수담수화 전용 카트리지 필터 Modular Rack 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 카트리지 필터 하우징 제작 - 카트리지 필터 Modular Rack 시험 제작 및 테스트 - UAE 현지 플랜트 RO 생산수 기준 1,000 m³/d 규모의 Modular Rack 제작 <p>3차년도: 현지 파일럿 설치 및 운전</p> <ul style="list-style-type: none"> - UF 처리수 대상 UAE 현지 플랜트 RO 생산수 기준 1,000 m³/d 규모의 Modular Rack 설치 - UAE 현지 플랜트 운전 및 문제점 개선 <p>4차년도: Modular Rack 기술이전 및 상용화</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modular Rack 문제점 보완 및 설계, 기술이전

	<ul style="list-style-type: none"> - 개선된 Modular Rack 제작 및 상용화 제품 생산 - 저비용 하우징 소재를 이용한 설계 및 제작 기술 개발 - 다양한 제품 확보를 위해 해수담수화 전용 Pleated type filter 개발 - 수명연장 및 내압성이 보장되는 카트리리지 필터 및 하우징, Modular Rack 개발 및 상용화 						
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - SWRO 및 고압펌프 수명연장을 위한 카트리리지 필터 - 교체가 용이하면서 경제성이 확보된 카트리리지 하우징 - 카트리리지 필터의 효율적 운영을 위한 Modular Rack 						
□ 세부과제 예산							
(단위 : 백만원)							
구	분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	136	850	127	87	1,200	
	민 간(추정)	136	850	127	87	1,200	
	합 계	272	1,700	254	174	2,400	
□ 기대효과							
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화플랜트에서 유지관리 측면에서 가장 심각한 문제를 갖고 있는 카트리리지필터에 대해 SWRO 공정 현장에 적합한 카트리리지 필터를 개발함으로써, 상용화 및 산업화로 연계할 수 있는 가능성이 매우 높음 - 국제적으로 가장 높은 효율과 경제성을 확보한 카트리리지 필터 및 하우징, Modular Rack을 개발하고 현장 검증을 함으로써, 해수담수화플랜트 수주 업체와 협력하여 수출 가능성을 높임 - 국내 카트리리지 필터 제조업체들에게 기술을 이전함으로써, 세계적인 해수담수화플랜트에 국내 기술이 적용될 수 있도록 유도 						
□ 연계·활용 과제 (기술)							
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - UF를 기반으로 한 전처리 공정과의 연계를 통해 국제적 수준의 통합 전처리 공정 및 운영 기술을 제안 - 국내 중소기업에서 주로 시판 중인 다양한 카트리리지 필터 제조업체와의 연구협력을 통해 해수담수화 전용 카트리리지 필터 및 하우징, Modular Rack을 제조하여 최종적으로는 해당 중소기업에서 최종 생산품을 생산 						

마. 2세부 과제

세부과제명	
해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 최고 수준의 해수 전처리 전용 막 투과플럭스 120 LMH 이상 (42,000 ppm, 30°C 기준)의 모듈, 스킴, 설계, 엔지니어링 기술 개발 - 선진사의 PVDF 재질 UF 막 평균단가 대비 1/2 이하의 경제성이 확보된 UF 막 개발 - 에너지 소모율 0.2 kWh/m³ 이하(RO 생산수 2,000m³/d 대비) 막 공정 개발 - UF 공정 유출 수질 SDI 3 이하의 고효율 공정 개발
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 고효율 고평럭스 해수담수화 전처리 전용 대용량 막 모듈 및 스킴 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 120 LMH 이상의 고평럭스를 위한 막 모듈 개발 - 초저가 저에너지 중공사 막 모듈 및 스킴 기술 개발 - PVDF 막 대비 1/2 이하 가격의 막 소재를 활용한 고효율/고강도 제조 기술 개발 2. 초저가 고평럭스 해수담수화 전처이용 UF 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유입 원수 농도 10 NTU 범위 내에 최적 막 면적 확보를 위한 최적 설계 인자 도출과 제거능 평가 모델 개발 - CFD 등을 활용한 모듈 내 유체거동 분석 및 최적화 - 에너지 저감을 위한 모듈 구조 분석 및 최적화 설계 - 단일 분리막의 모듈 평가 및 표준화 제조 기법 확립 - 역세척 효율 평가 및 최적화 - 화학적 세정 기법 확립과 UF 성능 및 수명평가 DB 구축 - 적조 발생시 적조 잔류물 제거능 평가 3. 해수담수화 전처이용 UF 설계 및 엔지니어링 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 초저가 고강도 스킴용 소재 적용 - 에너지 저감을 위한 스킴 형태 모델링 및 설계 인자 도출/최적화 - 3D 기법을 활용한 최적 스킴 형태 확정 및 시제품 개발 - 해수담수화 전처리 전용 UF 설계 프로그램 개발 4. 2,000 m³/d (RO 생산수 기준) 규모의 UAE 현지 플랜트 설치와 현장 검증 및 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 수질 대비 최적 설계인자 도출 및 운영인자 도출 - UAE 현지 플랜트 에너지 사용량에 따른 경제성 평가 - 에너지 효율성 확보를 위한 펌프 등의 전체 부품 및 설계 최적화 - 장기운전을 통한 설계 최적화 및 운영 DB구축 - 시운전 6개월과 정상운전 18개월 동안 성능 검증을 위한 UAE 현지 플랜트 설치, 검증 및 상용화
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도: 해수담수화 전처리 전용 UF 모듈 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고효율 저에너지 소재 발굴 및 제조 기법 확립 - 기공분포 분석을 통한 제거 효율 증대방안 조사

	<ul style="list-style-type: none"> - 강도 분석 및 보강 방법 적용 - 내화학적 분석 - 모듈화를 위한 단사수 및 설계 인자 도출 - 프로토타입 모듈 제작 <p>2. 2차년도: 해수담수화 전처리 전용 UF 공정 UAE 현지 플랜트 설계 및 시공</p> <ul style="list-style-type: none"> - CFD 분석 및 구조 최적화 - 역세척 평가 및 최적화 - 화학 세정기법 확립 및 운영인자 도출 - 다양한 오염물질 제거능 평가 - 스킴 구조 분석 및 스킴 최적화 - 2,000m³/d (RO 생산수 기준) 규모의 UAE 현지 플랜트를 위한 UF 스킴 설계 - 2,000m³/d (RO 생산수 기준) 규모의 UAE 현지 플랜트를 위한 설계 및 시공 <p>3. 3차년도: 해수담수화 전처리 전용 UF 공정 운영 프로그램 및 UAE 현지 플랜트 운영 및 시스템 업그레이드</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시운전 6개월, 정상 18개월 간의 성능 검증을 위한 공정 운영 개시 - 전처리 공정 성능에 따른 탄력적 운영 기법 개발 - 에너지 효율 분석 및 처리 효율 평가 - UF 공정 설계를 위한 프로그램 개발 <p>4. 4차년도: 해수담수화 전처리 전용 UF 공정 UAE 현지 플랜트 현장 검증 및 상용화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 플랜트 업그레이드 - 경제성 평가 - UAE 현지 플랜트 현장 검증 및 상용화
--	---

기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 최고 수준의 투과플럭스 120 LMH 이상 UF 모듈/설계/엔지니어링 기술 - 2,000 m³/d (RO 생산수 기준) 대비 에너지 사용량 0.2 kWh/m³ 이하의 UF 공정 - UF 공정 설계 및 엔지니어링 기술과 운영 프로그램
-------------------	--

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)							
구	분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	1,350	1,950	670	570	4,540	
	민 간(추정)	1,350	1,950	670	570	4,540	
	합 계	2,700	3,900	1,340	1,140	9,080	

□ 기대효과

기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 전세계 UF 시장의 가격 경쟁력에서 월등하게 앞서면서 UAE 현지에서 가장 높은 투과플럭스를 보일 수 있는 UF 모듈 및 설계, 엔지니어링 기술을 개발함으로써, UF로 변화되어 가는 해수담수화 전처리 공정의 세계 시장 선점 - 현 PVDF 일색인 UF 시장내 신소재 패러다임 변화를 통한 시장 창출 - 해수담수화 전처리시장 뿐만 아니라 국내외 정수 및 수처리 시장의 부가가치 창출 - 고효율, 고평럭스 막 개발을 통한 외산의 가격인하 효과 유발 - 국내 재래식 정수시장의 고도정수처리 도입효과를 통한 일자리 창출 - 해외 국산 브랜드 가치 창출
-------------	---

□ 연계·활용 과제 (기술)

<p>연계·활용 과제 및 기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2,000 m³/d (RO 생산수 기준) 규모의 UAE 현지 플랜트 내 전처리 공정으로서 적용 및 성능검증 - 2,000 m³/d (RO 생산수 기준) 규모의 UAE 현지 플랜트 설계 및 시공기술 개발 과제와 직접 연계
--------------------------	---

사. 2-1 공동과제

세부과제명	
보론 및 염제거 능력 향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발	
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 수질 기준 대비 유량 >7800GPD, 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92%를 위한 역삼투 막 및 모듈 개발(8x40 인치 42,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 30°C) - 일반 해수 수질 기준 대비 유량 >9000GPD, 염제거율 99.90%, 보론 제거율 95%를 위한 역삼투 막 및 모듈 개발(8x40 인치 32,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 25°C)
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 고성능 역삼투 분리막 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) 친수성 역삼투 분리막 지지층 개발 (Pure Water flux > 2000 GPD @40 psi) <ul style="list-style-type: none"> - 높은 보론 제거율에 적합한 지지체 (부직포) 확보 - 친수성 소재를 발굴 및 적용을 통한 최적의 역삼투 분리막용 지지층 개발 (2) 유량 >18 GFD 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92% 달성 (42,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8,30°C) <ul style="list-style-type: none"> - 높은 보론 제거율에 적합한 신규 첨가물 개발 - 활성층의 포어 제어 기술을 통한 저에너지, 높은 보론 및 염 제거율 분리막 개발 (3) $J/J_0 > 0.8$ (@50ppm Skim milk, 5hr) 역삼투 분리막 내오염 보호층 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 내오염 기능을 부여하는 보호층 물질 개발 - 세척 전후 유량 변화 <15% 이내의 dks보호층 유지 기술 개발 2. 고성능 역삼투막 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) 막모듈 설계인자 최적화 및 평가 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 역삼투 분리막 모듈의 설계 인자 도출 및 최적화 (2) Feed spacer 의 최적화를 통한 저차압 엘리먼트 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Modeling/Simulation을 통한 Low shear 영역 최소화 - 역삼투 분리막 모듈 내 차압 최소화 <5 psi
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 친수성 지지층 개발 및 연속 제조 기술 개발 - 고성능 역삼투 Lab scale 분리막 개발 및 연속 제조 기술 개발 (유량 >18 GFD 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92% 42,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 30°C) - 분리막 성능 평가 시스템 구축 2. 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 분리막 연속 제조 기술 개발 - 생산성 및 공정 기술 최적화 - 모듈 시제품 생산 및 평가 프로그램 개발 <p style="text-align: center;">유량 >7800GPD, 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92%</p>

	<p>(8x40 인치 42,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 30°C)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 내오염성 및 내구성 보호층 형성 기술 개발 - 내오염성 평가 시스템 구축 - 역삼투막의 2,000 m³/d 규모 UAE 현지 플랜트 공급을 통한 1차 prototype 평가 - 저차압용 분리막 및 모듈 설계 기법 개발 - 막모듈 설계인자 최적화 및 평가 모델 개발 - 분리막 및 모듈화 양산성 확보 - 시운전 6개월, 정상운전 18개월 간의 성능 검증을 위한 역삼투막의 2,000 m³/d 규모의 UAE 현지 플랜트 공급 <p>3. 3차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시운전 6개월, 정상운전 18개월 동안 성능 검증을 위한 부품 지원 <p>4. 4차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실증 평가 시스템 최적화 - 신뢰성 평가 및 수요기업의 성능 평가 확보 							
기술개발 최종성과물	<p>1. 초고성능 역삼투 분리막 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - SWRO 분리막 : 유량 18 GFD 이상, 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92% <p>2. 초고성능 역삼투막 엘리먼트 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - SWRO 엘리먼트 : 유량 7800 GPD 이상, 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92% 차압 5psi 이하 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		소계	비고
연차별 연구비	정부	400	800	500	500		2,200	
	민간(추정)	400	800	500	500		2,200	
	합계	800	1,600	1,000	1,000		4,400	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 고성능 역삼투 분리막을 통한 역삼투 공정의 새로운 부가가치 제공 - 새로운 해수담수화 시장 확보를 통한 경쟁성 확보 - 차별화된 해수담수화 역삼투 제품화 개발을 통한 시장 선도 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 물 재이용 시장과의 연계기술 - 역삼투막 엔지니어링 기술과의 연계 조합 - 2000 m³/d UAE 규모의 현지 플랜트 내 역삼투막 공급을 통한 기술 검증 							

아. 2-2 공동과제

세부과제명		조류 및 고탁도 해수 전전처리 공정개발
□ 목표 및 내용		
목표		<ul style="list-style-type: none"> - 처리선속도(linear velocity, $m^3/m^2 \cdot h$) 10 m/h 이상 - 처리수질 탁도(turbidity) 4 NTU, 처리수질 TSS 3 mg/L, TOC 4 mg/L 이하 (UAE 현지 해수 유입 수질 기준 대비) - 에너지 소비량 : $0.05 kWh/m^3$ 이하 (RO 생산수 $2000m^3/d$, 회수율 45% 이상 기준)
주요 연구내용		<ol style="list-style-type: none"> 1. 해수 내 부유물질 및 조류 제거를 위한 filter 방식의 신개념 전전처리시설 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 국가 신기술 NPT 또는 NET 등록 신기술 - 유럽, 일본, 미국 등 선진 외국에서 상업화가 되지 않은 새로운 개념의 DAF 대체 부유물질 제거공정 2. 조류와 같은 고탁도 해수원수 전전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 고탁도 및 고농도 조류함유 해수원수를 화학처리없이 직접여과 또는 floating 등에 의한 처리공정 - 고탁도 및 고농도 조류함유 해수원수를 화학처리 후 직접여과 또는 floating 등에 의한 처리공정 3. 혼합-응집-제거가 연속적으로 진행가능한 전전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 약품혼합과 응집이 동시에 수행 가능한 화학처리 공정 - 화학처리 후 물리적 침전과정없이 여과 또는 floating 등에 의한 부유물질 제거 공정 - 혼합-응집-제거가 연속적으로 이루어지고 총 수리학적 체류시간이 1시간 이내 인 처리공정 4. 유기물 및 EPS 물질제거 기능이 포함된 전전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 부유물질 제거와 동시에 biofouling 물질을 생물학적으로 제거할 수 있는 biofilter 기능을 함유한 공정 5. 저에너지 고효율화 전전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 종래의 dual-media filter에 수준($0.05 kWh/m^3$ 이하)에 준하는 저에너지 소비 고효율 처리시설
□ 추진계획 및 성과		
추진계획		<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도: 조류 및 고탁도 대응 전전처리시설 설계기술 확립 재현성 실험 <ul style="list-style-type: none"> - 모형플랜트 제작 및 운전 ($200m^3/d$) - 조류 및 고탁도 해수원수처리 설계인자 도출 - UAE 현지 플랜트 실시설계 2. 2차년도: UAE 현지 플랜트 제작 및 설치 <ul style="list-style-type: none"> - 제작 : $2,000 m^3/d$ (RO 생산수 기준) 규모의 UAE 현지 플랜트 제작 - 통수실험 : 각 설계인자 재확인 - 시운전 6개월, 정상운전 18개월 간의 성능 검증을 위한 UAE 현지 플랜트 설치 3. 3차년도: 전전처리 공정 시운전 및 정상운전

	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 시운전 및 보완 (6개월) - UAE 현지 플랜트 파일럿 플랜트 정상운전(18개월) 개시 <p>4. 4차년도: UAE 현지 플랜트 현장 검증 및 기술이전</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 현장 검증 - 기술이전 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 2,000 m³/d (RO 생산수 기준) 규모의 신개념 전전처리 기술 - 고효율 저에너지 신개념 전전처리 설계 기술 - biofouling 저감기능이 포함된 전전처리 소재 기술 - 신개념 전전처리 기술 국제특허 1건 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		소계	비고	
연차별 연구비	정 부	200	900	400	300	1,800		
	민 간(추정)	200	900	400	300	1,800		
	합 계	400	1,800	800	600	3,600		
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 신개념 전전처리 공정 개발로 DAF 등의 선진 기술과 차별화 및 수출 전략 확보 - 신개념의 해수담수화 전전처리 공정 세계시장 점유 교두보 확보 - 세계 담수화 시장 진입을 위한 DAF 대체 원천 기술 확보 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 전처리 공정인 UF와 연계한 통합 전처리 공정개발 - 4대강 조류제거, 하폐수 및 정수처리장 부유물질제거 							

자. 3세부 과제

세부과제명	고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화 플랜트 설계/시공
□ 목표 및 내용	
<p>목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 현지맞춤형 신재생에너지 활용 고효율 저에너지 2,000 m³/일 규모의 UAE 현지 플랜트 설계 - 중동 현지 운영 최적화를 통한 에너지 소비량 3.3 kWh/m³ 역삼투법 해수담화시설의 설계 및 시공기술 개발 (조건 : 원수조건: TDS 42,000 ppm, 보론농도 5ppm, 온도 30도, 처리수 조건: TDS 500 ppm, 보론농도 2.4 ppm) · RO 공정 최저 에너지 소비량 2.5 kWh/m³ 달성(UF 전처리 출구에서 RO 트레인 1st Pass 출구까지) - 저에너지 역삼투법 해수담화플랜트의 10만m³/일 규모 시설의 설계기술 개발 - CAPEX 및 OPEX 최적화를 통한 UAE 현지 물값(1.5\$/m³) 대비 10% 이상 절감
<p>주요 연구내용</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. UAE 현지 플랜트 건설 및 검증 2. 2000 m³/일 급 신재생 에너지활용 저에너지 고효율 UAE 현지 플랜트 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 현지 맞춤형 저에너지 고효율 신재생에너지 융합 설계 - CAPEX 및 OPEX 최적화를 통한 현지 UAE 물값 대비 10% 이상 절감 - DAF/전처리/RO/후처리 system 설계/시공 기술 * 2-2공동과제의 기술적용 안정성을 위해 RO 생산수 기준 2,000m³/d 규모의 DAF 공정 설계 및 시공이 3세부과제에 포함됨 3. 고효율 해수담수화 기술 및 신재생에너지 활용 UAE 현지 플랜트 운전 안정성을 위한 설비 유지 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 각 Unit별 목표 값 설정 및 달성방안 수립/설계 - 장기 운전(시운전 6개월, 정상운전 18개월)을 통한 설비 안정성 검증하며, 시운전은 3세부과제가 주관 - 성능평가 시운전 기술 및 설계가이드라인 개발 4. 해수담수화시설의 신재생에너지 Interface 기술개발 5. 저에너지 역삼투 해수담화플랜트의 10만m³/일 규모 설계 기술 개발
□ 추진계획 및 성과	
<p>추진계획</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 현지 수질 Pre-study 및 설계 요구조건 분석 - 2000m³/일 급 저에너지 UAE 현지 플랜트 공정 최적화 및 Basic 설계 - 최저 에너지 소비량 달성을 위한 최적 설계 인자 도출 - 신재생에너지 인터페이스 최적화 및 요소기술 연구와의 융합방안 연구 - 최적 CAPEX 및 OPEX 산출을 통한 최저 NPV 도출 2. 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 최적 수리학적 흐름 도출을 위한 공정 구성 모의 - 최저 에너지 소비량 달성을 위한 압력손실 최소화 연구 - 전체 플랜트 설비 최적화 요소 개발

	<ul style="list-style-type: none"> - 2000 m³/일 급 UAE 현지 플랜트 제작, 설치 <ul style="list-style-type: none"> • 제공받는 설비(전전처리 설비 일체, UF막 및 SKID, RO막 외)와의 최적 구성 <p>3. 3차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2000 m³/일 급 UAE 현지 플랜트 장기 운전(시운전 6개월, 정상운전 18개월)에 대한 플랜트 설비 유지관리 및 최적 인자 도출 <ul style="list-style-type: none"> • UAE 현지 플랜트 시운전(6개월) 주관 및 총 운전기간(24개월) 설비 유지관리 • 단위 공정별 요소기술과의 연계 및 설비 최적 인자 도출 • 에너지 소비량 산출 모델 도출 • 단위 공정별 에너지 소비량 및 RO 트레인 에너지소비량 2.5 kWh/m³ 검증 • 성능향상을 위한 플랜트 설비 개선방안 도출/도입 • 대용량 적용을 위한 CAPEX 및 OPEX 최종 산출 등 경제성 검토 모의 <p>3. 4차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 성능평가(Performance and Acceptance Test)를 통한 전체 플랜트 에너지 소비량 3.3 kWh/m³ 달성 검증 - 에너지 소비량 산출 모델 이용, 최종 에너지 효율 평가 - 단위 요소기술의 대용량 설계 및 적용 방안 개발 - 성능평가 시운전 기술 및 설계가이드라인 개발 - 저에너지 역삼투 해수담화플랜트의 10만m³/일 규모 설계 - 사업화 추진방안 검토 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 2,000 m³/일 급 신재생에너지 활용 해수담수화 플랜트 설계 및 시공 기술 - 해수담수화시설의 신재생에너지 Interface 기술 - 에너지 역삼투 해수담화플랜트의 10만m³/일 규모 설계 기술 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구 분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		소계	비고
연차별 연구비	정 부	180	6,800	500	140		7620	
	민 간	180	6,800	500	140		7620	
	합 계	360	13,600	1,000	280		15,240	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 현지 맞춤형 기술개발을 통한 기술검증 및 사업화 - 차세대 해수담수화 기술 분야 경쟁력 제고 - 공동연구를 통한 UAE 담수 시장진출 및 전략적 제휴 기대 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 제1세부 및 제2세부과제와 연계한 Test-bed운전 - 저에너지 해수담수화플랜트 운영관리기술 개발 결과와의 Feed-back - 신개념의 저에너지 해수담수화기술과 연계(FO, PRO, MD) 							

차. 3-1 공동과제

세부과제명	해수담수화플랜트 저전력·저비용 운영관리 기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화 플랜트 저전력 운영기술 개발 : 전력 사용량 연간 증가율 5 % 이내 - 해수담수화 플랜트 저비용 유지관리 기술 개발 : 유지관리 비용 5 % 이상 절감 - VFD 지능형 제어에 의한 펌프효율 손실 10% 감소 <p>※ 운영관리 플랫폼 : 운영 및 유지관리에 관련된 하드웨어와 소프트웨어, 운전기법, 프로토콜 등의 종합적인 패키지와 표준화된 서비스 방법론을 포함한 시스템</p>
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 저에너지 해수담수화 플랜트 운영데이터 실시간 분석, DB 구축 및 지능화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) 저전력·저비용 기반의 해수담수화 운영 최적화 프로그램 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 가동량, 전력비, 수질변화등을 고려한 운영 최적화 프로그램 개발 - 수질 기준 만족을 위한 공정수 Blending 운영 기술 (Stage 최적화 및 수충격 방지) 개발 - 자가진단(Self Diagnosis) 기능 프로그램 개발 (2) 운전·유지관리 매뉴얼 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 마이닝 기법을 활용한 운영데이터 분석 및 통합정보 DB 구축 - 약품주입, 약품세척, 막모듈교체, 시스템 및 단위공정 운전 등에 대한 운영 관리 매뉴얼 개발 2. 고압펌프 저전력 운전을 위한 VFD 지능형 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) VFD 제어 고도화기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 동적모사 기반의 VFD 성능예측 및 시뮬레이션 모델 개발 - 성능예측모델 기반의 VFD 제어로직 개발 (2) 에너지 사용량 최소화를 위한 VFD 최적제어 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 수압시스템 특성을 고려한 VFD 제어 최적화 - 실시간 수요량 변동과 에너지 사용량을 고려한 VFD 제어 최적화 3. 운영·유지관리 기술의 스케일업 (Scale-up) 방법 도출 <ul style="list-style-type: none"> (1) UAE 유관기관과 함께 규모별 운영·유지관리 기술 적용방안 도출을 위한 경제성 및 사업성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트와 실 규모 플랜트 규모별(5만,10만,20만 m³/d) 적용방안 도출 - 운영·유지관리 시나리오별 유지관리비(전기료,막모듈교체비,약품비 등) 산정 (2) 실 규모 (10 만m³/d) 해수담수화 플랜트 운영관리 플랫폼 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 정상운전(18개월) 간의 데이터의 빅데이터화 및 성능분석을 위한 데이터베이스 구축 - UAE 현지 플랜트(2000 m³/d) 운영 데이터 기반 실규모 플랜트 운영관리 방법론 도출 - UAE 현지 적용 가능한 실규모 해수담수화 운영관리 플랫폼 설계
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	1. 1차년도

	<ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 해수담수화 공정운영 지능화 요소기술 개발 - VFD 지능형 제어 요소기술 개발 - 유지관리 비용 최소화 기본로직 개발 <p>2. 2차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화 운영 최적화 프로그램 개발 - 자가진단(Self Diagnosis) 기능 UAE 현지 플랜트 적용 및 검증 - VFD 제어 고도화기술 개발 - 다중 시나리오 기반의 막 세정 프로토콜 확립 <p>3. 3차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3세부과제의 시공 후 시운전 6개월, 정상운전 18개월 동안 VFD 지능형 제어 기술과 공정 운영 지능화 요소기술의 성능 검증 - UAE 현지 플랜트의 시운전 기간(6개월)간 운영관리 시스템 적용 및 보완과 정상운전 기간(18개월)간 운영관리 주관 - 운영 지능화 기술 및 최적화 프로그램 UAE 현지 플랜트 적용을 통한 운영인자 도출 - 에너지 사용량 최소화를 위한 VFD 최적제어 시스템 UAE 현지 플랜트 적용 <p>4. 4차년도</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 운전데이터 분석 및 운영관리 매뉴얼 작성 - 운영관리 지능형 플랫폼의 경제성평가 및 10만m³/d 규모 개념설계서 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 저전력·저비용 기반의 해수담수화 운영 최적화 프로그램 및 기법 - 저에너지 해수담수화플랜트의 운전(유지)관리 매뉴얼 - VFD 지능형 제어장치 및 로직 패키지 - 해수담수화 저전력·저비용 운영관리 10만m³/d 규모 개념설계서 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구 분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		소계	비고
연차별 연구비	정 부	200	500	700	900		2,300	
	민 간(추정)	200	500	700	900		2,300	
	합 계	400	1,000	1,400	1,800		4,600	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 해수담수화기술로 시장개척을 통한 새로운 부가가치 창출 - 신기술 시장 선도를 통한 일자리 창출 - 저에너지 해수담수화시설의 도입을 통한 O&M시장 진출 우위확보 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 3세부과제인 해수담수화시설의 설계 및 시공 기술 개발과 연계 Feed-back - 2,000 m³/d 규모의 UAE 현지 플랜트 설계과정에서부터 참여 및 기술 성과물 적용 - 신개념의 저에너지 해수담수화기술과 연계(FO, PRO, MD) - 해양심층수의 산업화기술과 연계 							

카. 3-2 공동과제

세부과제명	중동 환경 및 수질 대응 막오염 저감기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - 2000 m³/d 규모의 UAE 현지 플랜트 분자 생물학적 분석 및 시각화 기법에 기반한 막오염 저감관리 기술 개발 (유지관리비용 5% 저감) - 촉매기반 선택적 산화에 의한 바이오파울링 맞춤형 막세정제 개발로 기존 상용화 세정제 대비 세정효율 (차압회복률 10%) 향상
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. UAE 현지 플랜트 수질 모니터링 및 분리막 분석을 통한 막오염 저감기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) 수질분석과 막오염 해석을 통한 담수공정 진단 및 공정효율 개선기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 수질모니터링, 막오염(UF/RO) 진단 및 맞춤형 solution 제시 (2) 원수/전처리/역삼투공정 조건에 따른 바이오파울링 모니터링 및 예측기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 분자생물학적 분석과 시각화 기법을 함께 활용한 생물막 형성 및 발달 모니터링 2. 막 세정기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> (1) 유지관리를 위한 바이오 파울링 맞춤형 촉매기반 선택적 산화 고효율 막세정제 개발 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 수질 및 막오염 특성을 고려한 촉매기반 선택적 산화 막세정제 개발 (2) 막세정 기술의 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 특수성을 고려한 막오염 특성에 따른 막세정제 최적 적용 방법 개발 및 세정효과 극대화를 위한 물리/화학적 막세정 융합기술 개발 (3) 세정약품 최적 운전 소프트웨어 및 매뉴얼 구축
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오파울링 진행 과정의 시각적 실시간 모니터링을 위한 생물막 발달과정 시각화 및 분석 기술 개발 - UAE 현지 특수성을 고려한 촉매기반 선택적 산화 바이오파울링 대응 고효율 막세정제 개발 2. 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 바이오파울링 유발 미생물 군의 선택적 정량기술 개발 (5개 군 이상) - 생물막 미생물 군집 분석 정보에 기반한 최적 촉매기반 맞춤형 세정기술 개발 - 세정약품 데이터베이스 구축 3. 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 수질 모니터링 및 막오염 진단 - 세정약품 선정 및 운전 소프트웨어 개발 - 생물학적 데이터와 공정운전 데이터의 상관관계 분석 및 바이오 파울링 예측모델 개발 - 바이오파울링 제거를 위한 막세정 기술의 UAE 현지 플랜트 적용 및 효율 평가 4. 4차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 세정약품 최적 운전 소프트웨어 플랜트 운전기간 내에 UAE 현지 플랜트에

	<ul style="list-style-type: none"> 적용하여 성능 검증 - 수질분석과 막오염 해석을 통한 공정효율 개선기술 개발 - 전체공정 구성을 반영한 바이오 파울링 제어 기술의 UAE 현지 플랜트 최적화 - UAE 현지 플랜트 장기운전 데이터를 기반으로 목표 대비 에너지 절감 효과 확인 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트에 적합한 약품 선정 소프트웨어 개발 - 바이오파울링 유발 미생물 군의 선택적 정량기술 개발 - 바이오파울링 제어용 고효율 맞춤형 막세정제 개발 및 국제특허 1건 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
	구 분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도		소계	비고
연차별 연구비	정 부	200	400	700	400		1,700	
	민 간(추정)	200	400	700	400		1,700	
	합 계	400	800	1,400	800		3,400	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 막오염 저감 및 공정효율 개선 - 에너지 및 비용 저감을 위한 최적 운영 기술 확대 가능성 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계 및 시공, 운영기술과 연계하여 Feed-back - 전처리 UF 막모듈과 역삼투 막모듈 및 제조사와 연계한 연구추진 							

타. 3-3 공동과제

세부과제명	해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기술 및 에너지 맵핑 시스템 개발
□ 목표 및 내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화 공정 내 압력손실을 최소화하는 수압시스템 (Hydraulic System) 설계 최적화 기술 개발 : 수압시스템에서의 에너지 손실 10% 이상 절감 - 해수담수화 공정 에너지 사용량 모니터링 및 에너지 효율진단을 위한 에너지 맵핑 시스템 (Energy Mapping System: EMS) 개발 : UAE 현지 플랜트 내 10개 지점 이상 동시 실시간 모니터링
주요 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 및 운영 기술 개발 <ol style="list-style-type: none"> (1) 해수담수화 공정 수압시스템 해석 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 취수, 전처리, 역삼투 공정에 대한 배관해석 기술 개발 - UAE 현지 플랜트 및 실 규모 시스템 수압시스템 해석 소프트웨어 개발 (2) 해수담수화 공정 수압시스템 최적화 기법 개발 및 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 배관 내 압력손실 최소화를 위한 장치 배치 및 설계 방법론 개발 - 펌프와 ERD 특성을 고려한 수압시스템 최적화 기술 개발 - 수압시스템 운영 최적화 기법 개발 2. 해수담수화플랜트 에너지 맵핑 시스템 개발 <ol style="list-style-type: none"> (1) AEMI (Advanced Energy Monitoring Infrastructure) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유무선 지능형 센서 기반의 구간별 에너지 효율 측정기법 개발 - 실시간 에너지 측정망의 담수화 플랜트 적용기술 개발 (2) AEMI 기반 현장·원격 진단기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - AEMI와 정형/비정형 데이터 분석을 통한 담수화 공정 에너지 사용량 변화 예측 기술개발 - 유무선 보안 통신망을 이용한 담수화 플랜트 에너지 효율 원격진단 기술 개발 (3) 에너지 맵핑 시스템 (EMS: Energy Mapping System) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 센서와 SD (System Dynamics)를 이용한 실시간 에너지 밸런스 산정 기술 개발 - 에너지 사용량 진단(Diagnosis) 및 예보(Forecast) 기능의 에너지 맵핑 시스템 개발 및 UAE 현지 플랜트 적용·검증
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도: 해수담수화 공정 수압시스템 해석 및 에너지 효율측정 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 취수, 전처리, 역삼투 공정에 대한 배관해석 기술 개발 - 유무선 지능형 센서 기반의 구간별 에너지 효율 측정기법 개발 2. 2차년도: 해수담수화 공정 수압시스템 및 실시간 에너지 측정·분석기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 배관 내 압력손실 최소화를 위한 장치 배치 및 설계 방법론 개발 - 실시간 에너지 측정망의 담수화 플랜트 적용을 위한 AEMI 하드웨어 및 소프트웨어

	<p>어 개발</p> <p>3. 3차년도: 해수담수화 공정 수압시스템 및 에너지 사용량 예측 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAE 현지 플랜트 및 실 규모 시스템 수압시스템 해석 소프트웨어 개발 - AEMI와 정형/비정형 데이터 분석을 통한 담수화 공정 에너지 사용량 변화예측 기술개발 <p>4. 4차년도: UAE 현지 플랜트 에너지 맵핑 시스템 구축 및 성능검증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 운영데이터 분석을 통한 수압시스템 효율개선 - UAE 현지 플랜트에 에너지 맵핑 시스템 (EMS: Energy Mapping System)의 운전 기간 내 현장 적용 및 성능 평가 - 에너지 효율분석 및 문제 해결을 위한 원격진단 기법 UAE 현지 플랜트 적용 							
기술개발 최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화 플랜트 수압시스템 (배관, 펌프, ERD, 모듈 등) 설계 매뉴얼 및 소프트웨어 - AEMI 장치 패키지 (10개 지점 이상 동시 실시간 모니터링 기술) - 해수담수화 플랜트 에너지 맵핑 시스템 (하드웨어+소프트웨어): 에너지 손실 추적 - 해수담수화 플랜트 문제해결을 위한 원격진단 및 지원 시스템 							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
	구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		소계	비고
연차별 연구비	정 부	200	250	250	300		1,000	
	민 간(추정)	200	250	250	300		1,000	
	합 계	400	500	500	600		2,000	
□ 기대효과								
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> - 해수담수화 플랜트 배관 및 펌프/저수조/모듈 설계 최적화에 의한 압력손실 최소화 및 에너지 절감 (배관에서의 압력손실 10% 이상 절감 → 0.05 kWh/m³ 이상의 절감) - 해수담수화 플랜트 에너지 맵핑 시스템 활용에 의한 장치 및 부품의 이상 유무 진단, 에너지 손실발생 부위 조기발견 등 - 기존 해수담수화 플랜트에 플러그인 (Plug-in) 방식으로 적용이 가능하므로 조기 상용화 및 시장 진출 가능 							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	- UAE 현지 플랜트 설계 및 시공을 담당하는 3세부과제 및 운영관리를 담당하는 3-1 공동과제와 연계 적용							

2절. 연구단 이후 추진 계획



그림 112. Masdar 기술개발 절차를 벤치마킹한 기술개발 이후 추진 계획

○ 연구개발 이후 FS 수행

- 100,000 m³/d 규모의 플랜트에 대한 FS 수행을 통해 경제성 평가 진행
- 3 세부과제 책임 기관에서는 이에 대한 평가를 직접적으로 수행
- 최저 에너지 소비율을 통한 최저 Water Tariff를 통해 Masdar내 실 플랜트 추진 및 중동 시장 진입

○ 연구단 추진시 이에 대한 전략개발 및 Masdar와 Contract 추진

- 연구단 주관기관과 세부(협동/공동)기관 및 KAIA와의 협력을 통해 Masdar와의 실 Contract를 체결

3절. 정부지원의 필요성

1. 해수담수화 플랜트 분야의 국가적인 대응 필요

○ 해수담수화 플랜트 기술의 특성상 국제 공동 연구가 필수적

- 실질적인 국내 시장이 없어 해외 시장 진출은 필연적이며, 해외 시장 맞춤형 기술 개발이 필수적인데, 현지 기술 개발은 상당한 진입장벽이 존재함.
- 해외 기업 등과의 공동 기술 개발시 상호간의 이해득실에 따른 의견충돌에 대한 중재 역할로 국가의 도움은 필수적

○ 국제 공동 연구의 결실을 위해 국가적 차원에서 객관적인 data 확보를 위한 장기 시설검증의

장을 마련해야 함

- 해외 진출전에 국내 플랜트를 활용하여 기술검증은 연구목표 달성을 위해 필수적 절차임.
국내 다양한 파일럿 플랜트 등을 검증시설로 활용할 경우 이러한 목적으로 달성할 수 있음
- 국내 연구가 진행되었거나 진행중인 파일럿 플랜트의 검증시설 활용을 위해서는 국가적 지원이 필요하며, 이를 위한 국가적 차원의 연구 다변화 추구가 필요
- 국토해양부 중심의 해수담수화분야의 원천기술 확보를 통한 기술의 다변화와 이를 통한 기업 육성
 - 아직까지 2-3개의 대기업을 제외하면 세계 해수담수 시장진출이 가능한 기업은 없음. 따라서 기업 육성이라는 큰 틀에서 볼 경우 국가차원에서의 기술개발 지원은 당연한 사항임
 - 다양한 원천기술의 확보는 선진국과의 경쟁력 확보를 위해 필수적인 상황으로 이는 곧 국익 창출과 직결됨
- 국내 기후변화에 따른 대체수자원 확보차원에서 해수담수기술 확보
 - 국내 수자원 상황을 비추어 볼 때 기후변화에 따라 가뭄 등이 되풀이 되고 있음. 이에 해수담수화 수자원 개발은 지속가능한 수자원 개발이라는 측면에서 당연한 과제임
 - 현재 “해수담수화 플랜트 사업단”을 통해 개발된 기장 플랜트가 부산시 기장군에 물공급될 예정이나 기존 정수단가에 비해 비싼 생산수 단가로 인하여 차질이 있음. 따라서 해수담수화 플랜트의 저변 확대를 위해서는 생산수 단가를 낮출 수 있는 기술 개발은 필수적이나, 각 지자체 등의 상황을 볼 때 국가적인 동력원인 필요함

2. 거대 시장 진출을 위해서는 국가 차원의 협력이 필요

- 중동지역 등 거대 해수담수화 시장에서 국내 기업간의 저가 수주로 인하여 플랜트 수주에 성공해도 큰 이익창출이 힘든 상황임. 따라서 산업계 자체적으로 해외 진출시 이러한 상황이 되풀이 될 것이 우려
- 중동 등의 거대 시장 국가내 진입장벽이 높음. 일반적을 검증된 기술을 받아들이고자 하기 때문에 2-3 개의 대기업을 제외하고는 거대 시장국가와 공동 기술개발은 불가능한 상황임.
 - 한 두개의 대기업 독점상황을 만들 수 있으며, 중소/중견기업은 대기업에 종속될 수 밖에 없는 우려가 있음
 - 따라서 대기업과 중소/중견기업의 건전한 컨소시엄을 조성하기 위해 국가적인 지원은 필요하며, 이를 통해 중소/중견기업 육성 전략을 추진
 - 현재 국내 시장이 없기 때문에 자본력에서 약점이 있는 중소/중견기업은 자체적인 기술개발 계획을 수립하는 것이 어려운 상황임. 이에 국가적인 지원을 통해 건전한 해수담수화 산업 생태계 조성이 필요함

4절. 기대효과

1. 신성장동력 창출 효과

- 2020년 이후 세계시장의 10%를 점유하는 경우 약 6억 \$/year의 수주가 가능하며, 이에 따른 매년 성장시 향후 10년간 60억\$ 규모 이상의 성장동력원이 될 수 있을 것으로 기대 (계산근거: 2020년 약 60억\$ 규모의 시장 형성 예상, www.desaldata.com 참고)
- 중동지역의 기술 및 시장동향에 부합하는 과제를 기획/발굴함에 따라 기술수요국을 포함한 유사 지역의 시장진입에 있어서 교두보를 제공
- 단/중/장기 원천기술 확보가 가능한 과제를 기획/발굴함에 따라 해수담수화 시장 진입에 대한 시간별 기술 개발 지속성 확립
- 현재 포화상태인 국내 일자리를 국외 일자리까지 확대하는 효과로 인한 건강한 청년 일자리 창출을 기대
- 중동지역을 대상으로 한 기술개발 및 테스트베드 설치로 인해 국가 R&D의 성과가 공격적인 마케팅으로 연결됨으로써, 건설수주로 직결될 수 있음을 입증
- 국가 대 국가의 기술 전략적 제휴관계 하에서 기술검증 및 건설 수주를 통해 국익 창출 기회 확보 및 국가 R&D가 사회에 직접적으로 기여할 수 있는 방안을 제시

2. 경제적 효과

- 2008년 전 세계 담수화 생산규모는 4,900만 m³/일 이었으나, 2020년에는 14,800만 m³/일로 증가할 것으로 전망됨 (연평균 시장성장율 : 9.5%)
- 2020년에는 막을 이용한 담수화 방식이 전체 해수담수화 시장의 80%이상을 점유할 것으로 전망되며, 저에너지를 기반으로하는 기술적 요구량이 많아질 것으로 기대
- 본 연구 과제를 수행한 결과, 30 MIGD(136,380 m³/d)용량 규모의 그린 담수화 플랜트를 2년에

걸쳐 한 개씩만 수주한다고 가정하더라도, 매년 1200억의 수주 효과가 기대됨. 본 연구를 통하여 개발한 기술을 적용하여 약 10%의 원가 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되며, 이 경우 매년 120억원의 경쟁력을 확보하는 것으로 볼 수 있을 것임

5절. 예상되는 기술개발 가치 평가

1. 기술 가치 평가에 대한 방법

가. 개발된 해수담수화 기술의 기본적인 가격 경쟁력을 검토하고, 기존 기술의 한계를 돌파함으로써 얻을 수 있는 경제적 가치 및 후속 연구의 생산성 향상, 홍보효과 등의 경제적 파급효과를 종합적으로 평가

- 중동지역 생산수 단가에 대비 경제적 절감
 - UAE에서 기술이 사업화될 경우 현지 생산단가와 비교를 통해 경제성을 분석
- 해외시장 진출 확대
 - 국내 기업이 미래의 프로젝트 수주시 현지 플랜트의 reference로서 가치 평가
- 기타 경제·사회적 파급효과
 - 부가가치유발효과, 생산유발효과, 고용창출 효과를 산정

나. 각 선정된 경제적 가치 평가의 기준에 따른 분석 방법

- 중동지역에서의 생산수 단가에 대비 경제적 가치
 - 중동지역내 생산수 계약 단가 분석
 - 기술 목표 달성시 절감 정도에 대한 분석
- 해외시장 진출 확대
 - 기존 국내 기업의 해외시장 진출 동향 분석
 - 시장 확대에 대한 시장 점유율 분석
- 기타 경제·사회적 파급효과
 - 산업 연관 분석

2. 중동지역 생산수 단가 대비 경제적 절감

가. 세계 생산수 단가의 분석

- 전세계 생산수 단가는 용량에 따라서 변화가 있으나, 그림 113에서 보듯이 대부분 $2\$/m^3$ 이하에서 존재하는 것으로 분석
 - 가장 경제적인 생산수 단가를 기록하는 것은 싱가포르의 'TUASPRING'로 공업용수를 $1\ m^3$ 당 391원(0.36달러)로 공급
 - 호주 지역의 생산수 단가는 $1.23 \sim 2.46\ \$/m^3$ 으로 조사되었으며, 타 지역에 비하여 생산수 단가가 높은 것으로 조사됨

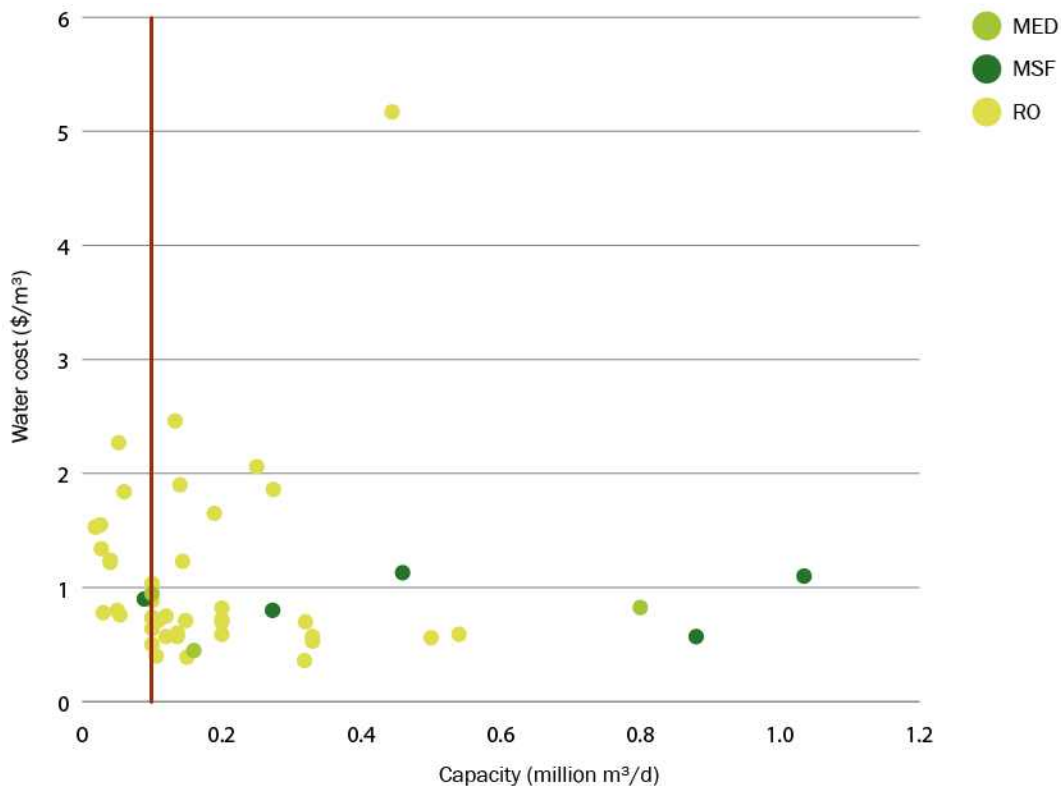


그림 113. 전 세계 해수담수화 플랜트 용량별 생산수 단가
(Desalination Market 2016, GWI 참고)

나. 중동 지역 생산수 단가의 분석

- 중동지역의 생산수 단가는 표 33에 있는 것처럼 $0.57 \sim 2.27\ \$/m^3$ 범위에 있는 것으로 조사되었음.
 - UAE 지역에서 역삼투공정으로 건설된 최저의 생산수 단가는 Al Fujairah RO 방식 플랜

트인 0.6 $\$/m^3$ 임. 본 기획에서 검토되고 있는 신재생에너지를 활용하지는 않지만 중동지역에서 경제성을 확보하기 위해서는 Al Fujairah RO 방식 플랜트인 0.6 $\$/m^3$ 를 기준으로 고려하는 것이 타당

- 0.6 $\$/m^3$ 는 표에서 알 수 있는 것처럼 사우디아라비아와 비교할 경우에도 경쟁력이 있는 것으로 평가될 수 있음

표 33. 중동 및 아프리카 지역의 생산수 단가

Plant	Capacity (m ³ /d)	Contract year	Process	Water price ($\$/m^3$)
Arzew IWPP, Algeria	88,888	2002	MSF	0.90
El Hamma, Algeria	200,000	2003	SWRO	0.82
Ras Laffan B, Qatar	272,760	2004	MSF	0.80
Beni Saf, Algeria	200,000	2004	SWRO	0.70
Shoaiba 3, Saudi Arabia	880,000	2005	MSF	0.57
Skikda, Algeria	100,000	2005	SWRO	0.74
Al Jubail, Saudi Arabia	800,000	2007	MED	0.83
Al Fujairah 2 RO, U.A.E.	136,260	2007	SWRO	0.60
Cap Djinet, Algeria	100,000	2007	SWRO	0.73
Sea Water Barge RO, Saudi Arabia	52,000	2007	SWRO	2.27
Mostaganem, Algeria	200,000	2008	SWRO	0.72
Tenes, Algeria	200,000	2008	SWRO	0.59
Fouka, Algeria	120,000	2008	SWRO	0.75
Magtaa, Algeria	500,000	2009	SWRO	0.56
Shuweihat 2, U.A.E.	459,146	2009	MSF	1.13
Ras Al-Khair (MSF), Saudi Arabia	1,034,700	2010	MSF	1.10

다. UAE Al Fujairah 2 RO 플랜트

- Veolia water에서 설계 및 시공하였으며, 생산수 단가는 0.60\$/m³ 로 조사됨
- 전체 공정계통은
 - Open intake → Spidflow DAF → DMF → Cartridge Filtration → RO process (2 pass 시스템) → Pelton Turbine ERD → Remin 설비로 구성

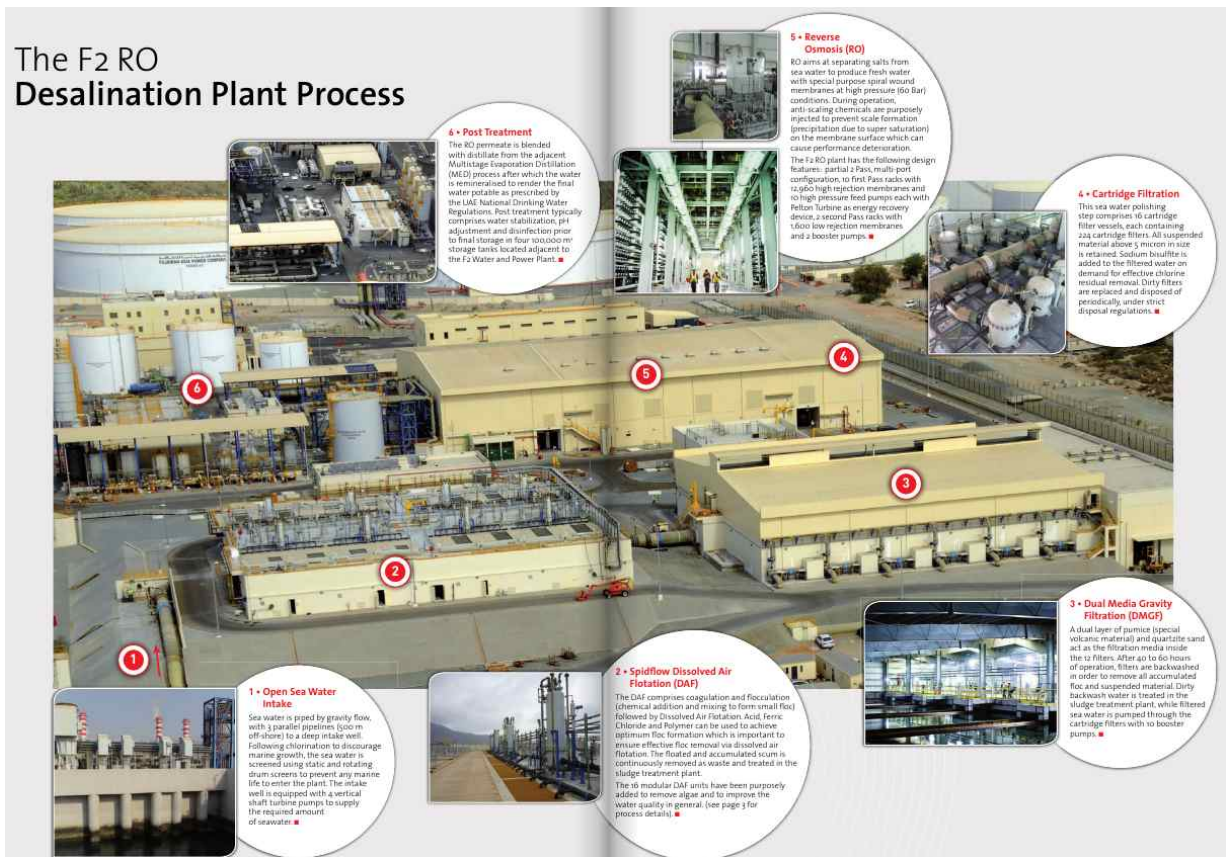


그림 114. Al Fujairah 2 RO 플랜트의 공정도 (Veolia water 카탈로그, www.veolia.com/middleeast/.../Fujairah_2_RO.pdf 참조)

- 설계인자
 - 온도 : 22-33 °C
 - 원수 농도 : TDS : < 40,500 mg/L, TSS < 5 mg/L
 - 보론 : < 5 mg/L
 - 회수율 : 40%

○ 플랜트 성능

- 설계 수질 : TDS 317 mg/L 이하, 보론 1.73 mg/L 이하,
- 실제 수질 : TDS 200 ~ 300 mg/L 이하, 보론 1 mg/L 이하,
- 에너지 소모량 : 3.7 kWh/m³ (인테이크와 후처리 제외)
- EPC 단가 : 900,000,000 \$ (약 1조350억원, 1\$=1150원 기준)

Specifications		Technical Specifications	
Status	Online	Scope type	EPC
Award date	2007	Plant type	Greenfield
Online date	2010	Location type	Land based
Capacity	136,260 m ³ /d	User Category	Municipalities as drinking water (TDS 10ppm - <1000ppm)
Location	Qidfa, United Arab Emirates	Est. project cost	USD 2,700,000,000
Technology	RO (Reverse Osmosis)	Est. EPC cost	USD 900,000,000
Project scope	Power/Desal Plant	Water cost	USD 0.6 / m ³
Contract type	IWPP	Plant configuration	Hybrid
Concession period	20 years	Feed water type	Seawater (TDS 20000ppm - 50000ppm)
		Feed water salinity	39,000.0 ppm
		Feed water min. temp.	16.0 °C
		Feed water max. temp.	33.0 °C
		Product water salinity	450.0 ppm

Technical Specifications	
Technology	RO (Reverse osmosis)
Output water	136,260 m ³ /d
No. of units	10
Energy recovery	Calder Energy Recovery Turbines

Contact
Abdulla Saif Al Nealmi + 971 2 694

그림 115. 전반적인 프로젝트 내용

라. 기획 플랜트의 경제적 가치 평가

○ 본 과제에서 개발되는 플랜트 공정과의 비교

- 그림 116은 본 과제에서 개발되는 공정과 UAE내 실플랜트 Al Fujairah 2 RO공정을 EPC 비용 면에서 비교한 것으로 본 기획에서 개발 목표인 공정의 EPC 경쟁력이 비교적 높은 것으로 판단됨
- 본 과제에서의 EPC 경쟁력은 2nd pass시스템을 생략한 설계에서 비롯되는 것으로 분석됨. 일반적으로 설계에 따라서 다르지만, 2nd pass를 1st pass의 50%를 기준으로 설계한다고 가정할 경우 RO Train의 1/3가량을 절감할 수 있는 요소가 됨. 또한 RO 시스템은 전체 공정의 약 30~50%의 건축비를 점유하므로 본 시스템에서는 50%를 기준으로 계산할 경우

전체 공정의 약 17%의 건축비 절감이 예상

- UF 의 경우 DMF에 비해 약 60% 내외의 비용이 더 소요되는 것으로 분석됨 (Voutchkov, N., Desalination Engineering Planning and Design 2013 참고) 또한 전처리는 전체 공정의 15-20% 내외의 건축비를 차지하므로 UF전처리에 의한 10% 추가 비용은 전체 공정의 12%가 추가로 요구되는 것으로 분석됨
- 단 본 예상에 소요된 것은 순수한 건축비만을 의미하는 것으로 인건비 등 다른 요소를 고려할 경우 예측된 증감액은 비율적을 변화될 수 있음

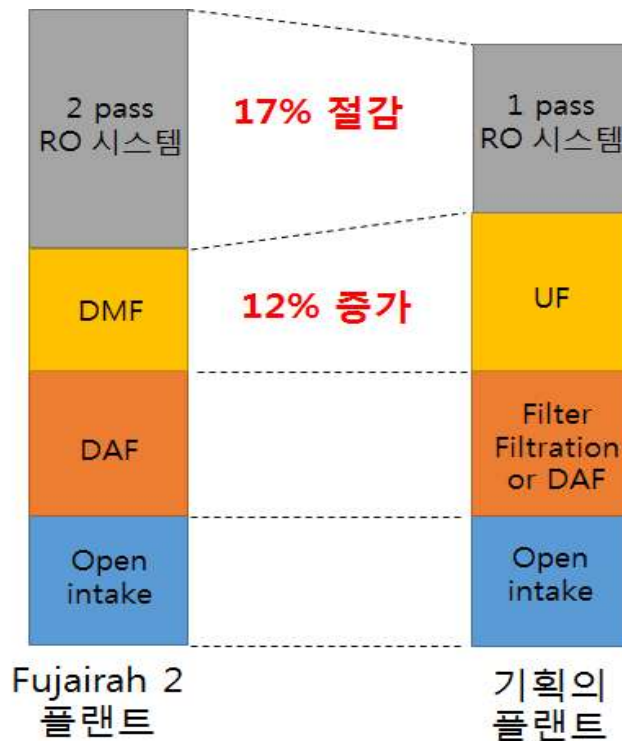


그림 116. Al Fujairah 2 RO 플랜트와 기획플랜트의 공정에 따른 건축비 가감 예상

- 그림 117은 본 과제에서 개발되는 공정과 UAE내 실플랜트 Al Fujairah 2 RO공정을 에너지 소모량 면에서 비교한 것으로 기본적으로 0.35 kWh/m³ 이상 절감이 가능할 것으로 추측됨. 따라서 Al Fujairah 2 RO공정의 에너지 소모량이 3.7 kWh/m³임을 감안할 때 3.35 kWh/m³까지 달성이 가능할 것으로 추측됨.
- 그림 118은 각 공정 요소가 생산수 단가에 미치는 영향을 보여주는 것으로 EPC의 경우 38.2%, 에너지가 31.6%의 비중을 차지하는 것으로 분석됨. 따라서 본 연구개발 성공시 예상되는 생산수 단가 저감량은 건축비 5% 절감과 에너지 소모량 10% 절감을 고려할 경우 Al Fujairah 2 RO 생산수 단가 대비 약 5% 절감이 예상됨.

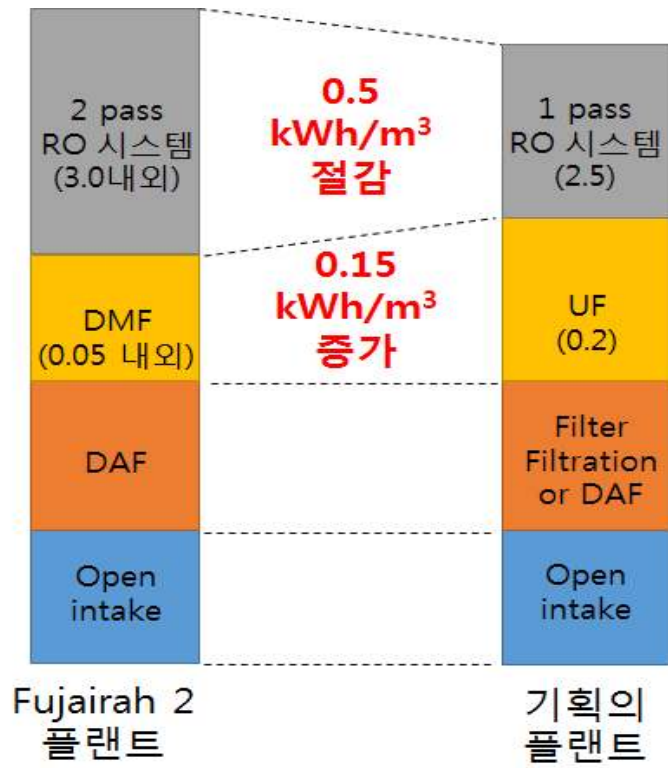
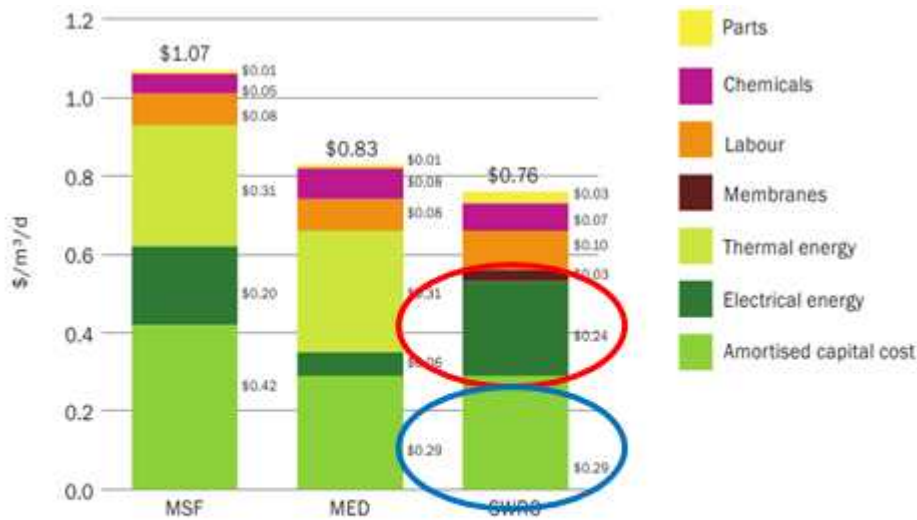


그림 117. Al Fujairah 2 RO 플랜트와 기획플랜트의 공정에 따른 건축비 가감 예상



Source: GWI DesalData

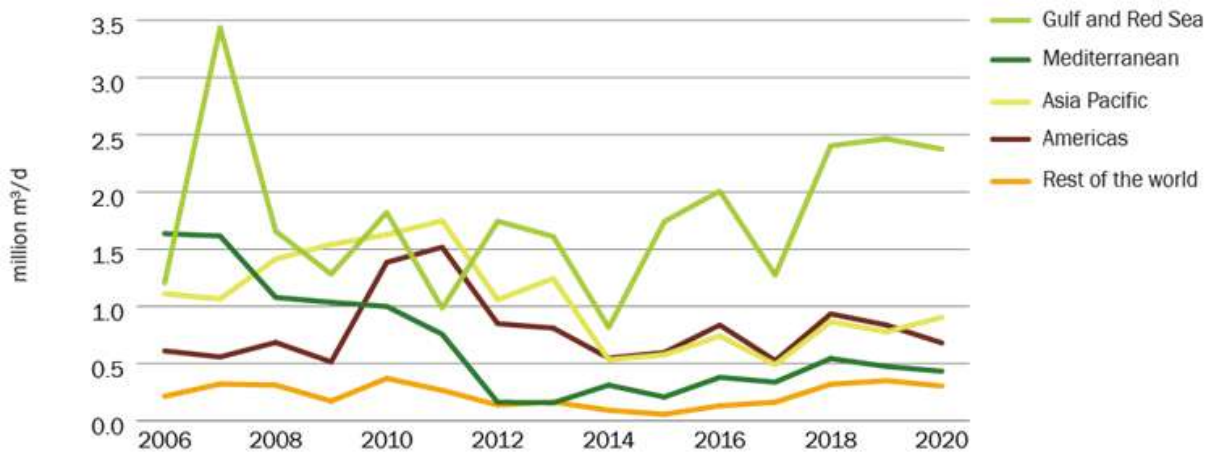
EPC : Power = 38.2 : 31.6

그림 118. SWRO에서 EPC와 에너지의 비중 (Desalination Market 2010, GWI 참고)

3. 해외시장 진출 확대

가. 해수담수화 시장의 확대

- 그림 119를 기준으로 향후 해수담수화 시장의 성장률은 중동지역에서 2014년 이후 2010년 까지 매년 약 16.7%의 성장률을 보일 것을 예상됨.
- 중동지역에서만 약 20만 m³/d 이상의 해수담수화 플랜트가 매년 발주될 것을 예상됨. Desaldata를 이용하여 100,000 m³/d이상의 중동지역 플랜트 EPC가격을 분석하면 200,000 m³/d는 4억\$ 규모의 시장으로 분석됨



지역별 Desalination 시장 예측

그림 119. 각 지역별 담수화 시장 예측

나. 국내 기업의 시장 점유율

- 두산중공업 RO 플랜트 수주량 및 시장 점유율
 - 표 34는 두산중공업이 RO 플랜트를 수주한 현황을 보여주는 것으로 중동 지역에서 RO 플랜트는 사우디아라비아 쪽에서 강점이 있는 것으로 분석됨
 - RO 부분에서 세계 수주량 기준으로 5위권에 있는 것으로 분석되며, 이는 비교적 최근에 수주한 칠레 에스콘디다 프로젝트에 기인한 바가 큰 것으로 사료됨
 - 세계 1위 기업은 IDE 사로 현재까지 2118365 m³/d의 규모를 수주한 것으로 조사되었음
 - 두산중공업의 2015년까지의 세계 RO 시장 점유율은 약 4.75%로 분석되었음

표 34. 두산중공업 RO 플랜트 수주현황

수주년도	용량 (m ³ /d)	국가
2013	216,000.00	칠레
2010	306,700.00	사우디아라비아 (Ras Al-Khair)
2008	240,000.00	사우디아라비아 (Jeddah RO phase 3)
2008	136,260.00	쿠웨이트 (Shuwaikh)
2007	150,000.00	사우디아라비아 (Shoaiba Expansion)
2007	120,000.00	오만 (Barka2)

표 35. 세계 10대 기업의 RO 시장 점유율

기업	점유율 (%)
기타	53.27543
IDE Technologies Ltd.	7.854141
GdF Suez	6.828107
Veolia	6.405005
Acciona S.A.	5.62468
Doosan	4.748015
Sacyr Vallehermoso SA	3.57442
GENERAL ELECTRIC GROUP (GE)	3.550291
Ferrovial	3.177421
GS Engineering & Construction	2.623899
Abengoa	2.338588

○ 기술 개발전 국내 기업 시장 점유율 예측

- 기존 2013년 이후로 RO 시장에서의 두산중공업은 전무한 것으로 사료됨. 이러한 것은 시장에서의 기술 정체성에 기인한 것으로 사료됨
- 따라서 지속적으로 시장 점유에 대하여는 향후에도 정체를 보일 것으로 사료되며, 이러한 추세가 지속될 경우 시장 점유하락이 예상되고 있음
- 표 36는 2013년 두산중공업 점유율과 현재까지의 점유율을 비교한 것으로 매년 0.5%가 하락한 것으로 사료됨
- 따라서 이러한 추세로 지속될 경우 2019년 RO 시장 점유율은 **시장상승율 15%를 고려할 경우 약 2.17% 수준에 그칠 것으로 사료됨**

표 36. 두산중공업 RO 플랜트 시장 점유율 하락

	2015년 현재	2014년	2013년	2007년
RO물량 (m ³ /d)	26,941,312	24,829,931	22,256,848	9099719
두산 점유율 (%)	4.75	5.16	5.75	3.63

○ 기술개발 후 국내 기업 시장 점유율 예측

- 해수담수화 플랜트 사업단을 기점으로 두산중공업의 점유율은 표 36에서 알 수 있듯이 6년간 2.12%의 상승을 보였음. 이러한 결과는 2013년까지 **매년 0.35%의 시장 점유율이 상승한 결과에 의한 것으로 분석됨**
- 이러한 추세를 바탕으로 적용할 경우 기술 개발 이후의 시장 점유율은 2023년까지 표 37에 나타난 바와 같이 3.57%까지 상승할 것으로 예측됨. 이때 누적 수주물량은 약 4,117,710 m³/d 으로 사료됨. 이러한 수주 물량을 현재의 가치로 계산할 경우 9조 7천억의 규모 계산됨. 그중에서 2019년 수주물량을 가감할 경우 6조 7천억의 가치가 있는 것으로 분석됨

향후 점유율에 따른 경제적 가치

$$\begin{aligned}
 &= (4,117,710 - 1,280,602) \text{ m}^3/\text{d}/5\text{년} \times 2054 \text{ \$/m}^3/\text{d} \times 1150\text{원}/\$ \\
 &= 6.7 \times 10^{12} \text{ 원}/5\text{년} \\
 &= 1.34 \times 10^{12} \text{ 원}/\text{년}
 \end{aligned}$$

표 37. 기술개발이후 시장 점유율 변화량 예측 (시장 점유율은 매년 0.35% 상승으로 가정)

	2019	2020	2021	2022	2023
RO물량 (m ³ /d)	59,098,647	70,362,247	83,315,388	98,211,499	115,342,027
시장점유율 (%)	2.17	2.205	2.87	3.22	3.57

4. 기타 경제적·사회적 파급효과

가. 산업연관분석을 활용한 경제적 파급효과분석

○ 해수담수화플랜트 사업단에서 개발된 기장 플랜트의 경제적 가치 분석에서 활용한 기법을 활용하여 분석함

○ 산업 연관분석의 정의

- 모든 산업은 생산활동을 하기 위해 다른 산업의 재화·서비스를 구입·판매하며 직·간접적인 관계를 맺는데, 산업연관분석은 이러한 산업 간의 거래관계를 일정기간(보통 1년) 동안 기록한 산업연관표를 바탕으로 산업연관효과를 수량적으로 분석하는 방법임
- 산업연관분석은 일정한 가정 사항에 의하여 이루어짐
 - 결합 생산이 존재하지 않는 한 산업은 한 상품만 생산함(일대일 대응)
 - 대체생산방법은 존재하지 않음
 - 규모의 경제는 존재하지 않으며, 각 부문이 사용한 투입량은 그 부문의 생산수준에 비례함
 - 외부경제는 존재하지 않으므로 각 부문이 개별적으로 행한 생산활동의 결과의 총계는 각 부문이 동시에 행한 결과와 같음

○ 산업 연관분석의 특성

- 모든 산업은 생산활동을 하기 위해 다른 산업의 재화·서비스를 구입·판매하며 직·간접적인

나. 경제적 파급효과분석 결과

○ 생산유발 효과

- 투입된 R&D 예상비용에 따른 생산유발 효과는 R&D 예상비용 562억에 대하여 기타 특수건설 부분의 생산유발계수를 곱하여 산정
- 기타 특수건설 부분의 생산유발계수는 “해수담수화플랜트 사업단”에서 실시한 기장플랜트 대상으로 도출된 2.37원/투입 1원을 활용

$$\begin{aligned}
 \text{생산유발효과} &= \text{R\&D 투입비용} \times \text{기타 특수건설 부분의 생산유발계수} \\
 &= 56,200,000,000 \text{ 원} \times 2.37 \text{ 원/ 투입 원} \\
 &= 133,194,000,000 \text{ 원}
 \end{aligned}$$

○ 부가가치 유발효과

- 투입된 R&D 예상비용에 따른 부가가치 유발 효과는 R&D 예상비용 562억에 대하여 기타 특수건설 부분의 부가가치 유발계수를 곱하여 산정
- 기타 특수건설 부분의 부가가치 유발계수는 “해수담수화플랜트 사업단”에서 실시한 기장플랜트 대상으로 도출된 0.75원/투입 1원을 활용

$$\begin{aligned}
 \text{생산유발효과} &= \text{R\&D 투입비용} \times \text{기타 특수건설 부분의 부가가치 유발계수} \\
 &= 56,200,000,000 \text{ 원} \times 0.75 \text{ 원/ 투입 원} \\
 &= 42,150,000,000 \text{ 원}
 \end{aligned}$$

○ 고용 유발효과

- 투입된 R&D 예상비용에 따른 부가가치 유발 효과는 R&D 예상비용 562억에 대하여 기타 고용 유발계수를 곱하여 산정
- 고용 유발계수는 “해수담수화플랜트 사업단”에서 실시한 기장플랜트 대상으로 도출된 10억당 11.80명을 활용

$$\begin{aligned}
 \text{고용유발효과} &= \text{R\&D 투입비용} \times \text{고용 유발계수} \\
 &= 56,200,000,000 \text{ 원} \times 11.80 \text{ 명/ 10억} \\
 &= 663.16 \text{ 명}
 \end{aligned}$$

부 록

■ 연구설계도 : 1세부 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3									
세부과제명	최종성과물	최종성과물 유형	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도			
현 지 거 점 관리와 조류 모니터링을 통한 저에너지 공정 제어 방법 개발	1.한-UAE 공동 연구 및 파일럿 설치를 위한 협약서 2.UAE 현지 연간 조류 데이터 베이스 3.적조 발생시 최적 운영을 위한 센서 및 운영 방안 4. Auxiliary line 파일럿 플랜트 5.저에너지 고효율 신재생에너지-해수담수화 파일럿 플랜트 현장 검증 보고서	1.MOA 및 현장 적용 매뉴얼 2. 조류 및 부산물 DB 3. 적조발생 대응 운영기법 4. Auxiliary line 파일럿 플랜트 5. 현장 검증 보고서	현 지 거 점 관리와 조류 모니터링을 통한 저에너지 공정 제어 방법 개발	1. UAE 현지 파일럿 플랜트 설치 및 성능 검증을 위한 국제 공동 연구 거점 관리 2. Gulf만 해수의 적정 모니터링 및 파일럿 플랜트 각 공정의 조류 거동 파악 및 데이터 베이스 구축	1	6	○	UAE 현지 파일럿 플랜트 설치를 위한 공조체계 구축 및 원수 내 조류 오염물질 분석	MOA 협약	1년							
			대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발	1. CDI원통형(내경4인치/폭12인치) 및 시스템 개발 (시스템 처리용량 100 m ³ /일) 2.유입 TDS 1,000mg/L 기준 제거율 90% 이상 3.CDI 전력 소모량: 0.40kWh/m ³	3	7		저에너지 소모형 CDI 전원 공급 장치 개발	컨트롤기판	4년							
			저 에너지 보론 선택적 제거 공정 기술 개발	1. 에너지 사용량 0.1kWh/m ³ 이하의 보론 제거 공정 기술 2. 생산수의 보론 농도 0.5mg/L 이하의 보론 제거 공정 기술	2	5		200톤/일 CDI 시스템 운전 최적화	성능평가 보고서	4년							
			고효율 내압성 카트리지 필터 모듈 기술 개발	1. 기존 카트리지 필터 차압(0.8bar) 기준 평균 교체주기 1.5배 이상 향상 2. 8"×50" 이상의 해수담수화 전용 필터 개발 및 국산화 3. 기존 모듈 크기의 50% compact화 공극 5um 이하, 막면적 2배 향상	3	3		대면적 전극 개발 및 CDI 모듈 개발	시제품 및 특허 2건	4년							
									CDI 용 이온교환막 개발	이온교환막 시제품	4년						
									저에너지 보론 선택적 제거 공정 기술개발	보론 선택적 제거 설비	4년						
									보론 선택적 제거 공정의 최적 설계 기술개발	설계프로그램설계 프로그램	3년						
									운전 및 재생기술 개발	최적운전 및 재생 프로토콜최적 운전 및 재생 프로토콜	3년						
									내구성 및 내압성 카트리지필터 및 하우징 개발	해수담수화 전용 카트리지필터 및 하우징	1년						
									해수담수화 전용 카트리지필터 Modular Rack 설계 및 제작	카트리지필터 Modular Rack 설계 기술	1년						
									현지 파일럿 플랜트 설치 및 운전	현지 파일럿 플랜트 설계 기술 및 운전 시스템	2년						
									현지 파일럿 플랜트 현장검증 및 기술이전	현지 파일럿 플랜트 현장 검증 최종보고서 및 기술이전 계약	2년						

■ 연구설계도 : 2세부 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3						
세부과제명	최종성과물	최종성과물 유형	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	1. 고효율 저에너지 한국형 전처리 공정	1. 해수담수화 전용 전처리 공정	해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	1. 세계 최고 수준의 해수 전처리 전용 막 투과플럭스 120 LMH 이상의 모듈, 스킴, 설계, 엔지니어링 기술 개발 2. 가격 경쟁력 우위를 위한 PVDF 막 평균단가 대비 1/2 이하의 UF 막 개발 3. 에너지 소모율 0.2 kWh/m3 이하(RO 생산수 2,000m3/d, 회수율 45% 이상 기준) 막 공정 개발 - UF 공정 유출 수질 SDI 3이하의 고효율 공정 개발	3	3	○	고효율 저에너지 UF 공정 소재 및 모듈 개발	고플럭스 UF 소재 및 모듈	1년				
								UF 공정 스킴 및 RO 생산수 기준 2,000m3/d 규모의 파일럿 플랜트 설계	UF 공정 스킴 및 현지 파일럿 규모 설계 기술	1년				
								현지 파일럿 플랜트 시운전 및 플랜트 업그레이드	현지 파일럿 플랜트 운전 시스템 및 매뉴얼	2년				
								현지 파일럿 플랜트 성능 점검	현지 파일럿 플랜트 성능 점검 및 최종 보고서	2년				
	2. 역삼투 공정 생산수 대비 0.25kWh/m3 이하의 전처리 공정	2. 전처리 공정 설계 기술 및 운전 시스템	보론 및 염 제거 능력 향상을 위한 고성능 역삼투 막 모듈 개발	1. 신소재 기반의 유량 >7800GPD, 염제거율 99.77%, 보론 제거율 92% (8x40 인치 42,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 30도) 2. 신소재 기반의 유량 >9000GPD, 염제거율 99.90%, 보론 제거율 95% (8x40 인치 32,000ppm NaCl, 5ppm Boron, @ 800 psi, pH=8, 8% Recovery, 25도)	2	3		친수성 지지층 개발 및 연속 제조기술개발	분리막 연속 제조기술	1년				
								역삼투막의 파일럿 공급을 위한 prototype 평가	역삼투 모듈 성능평가	1년				
								분리막 및 모듈화 양산 시스템 구축 및 파일럿플랜트 공급	역삼투 모듈 양산 시스템	2년				
	3. 해수담수화 전처리 공정 설계 기술 및 운전시스템	3. 고효율 역삼투막 모듈 및 시스템	조류 및 고탁도 해수 전처리 공정 개발	1. 처리선속도(linear velocity, m3/m2·h) 10 m/h 이상 2. 처리수질 탁도(turbidity) 4 NTU 이하(Algae blooming 시) 3. 처리수질 TSS 8 mg/L, TOC 4 mg/L 4. 에너지 소비량 : 0.05 kWh/m3 이하(RO 생산수 2000m3/d, 회수율 45% 이상 기준)	3	6		한국형 전처리시설 설계기술 확립 및 재현성 실험	전처리시설 설계기술 및 소규모 파일럿플랜트	1년				
								해의 현지 실증 플랜트 제작	전처리시설 현지 파일럿 플랜트 설계 기술	1년				
								해의 현장 설치 및 운전	해의 현지 파일럿 플랜트 및 운전시스템	2년				
								현지 파일럿 플랜트 현장 검증 및 기술이전	현지 파일럿 플랜트 현장 검증 최종보고서 및 기술이전 계약	2년				

■ 연구설계도 : 3세부 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3							
세부과제명	최종성과물	최종성과물 유형	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	1. 2000톤/일 급 신재생 에너지 활용 해수담수화 플랜트	1. 해수담수화플랜트	고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	1. 현지맞춤형 신재생에너지 활용 고효율 저에너지 2,000m3/일 급 해수담수화 플랜트 설계 2. 중동 현지 운영 최적화를 통한 에너지 소비량 3.3 kWh/m3 역삼투법 해수담화 시설의 설계 및 시공기술개발 (조건 : 원수조건: TDS 42,000 ppm, 보론농도 5 ppm, 온도 14~36도, 처리수 조건: TDS 600 ppm, 보론농도 2.4 ppm) - RO공정 최저 에너지 소비량 2.5 kWh/m3 달성(UF전처리 출구에서 RO 트레인 1st Pass 출구까지) 3. 저에너지 역삼투법 해수담화 플랜트의 10만m3/일 규모 시설의 설계기술 개발 4. CAPEX 및 OPEX 최적화를 통한 현지 UAE 최저 물값 대비 10% 이상 절감	1	6	○	site survey 및 각 요소기술 data sheet를 바탕으로 기본 설계	기본설계도	1년	■				
								저에너지 운영을 위한 최적 상세설계, 제작, 시공, 설치, 시운전	플랜트 시공 및 시운전	1년		■			
								단위공정별 최적 운영인자 및 에너지 사용량 도출	플랜트 운영 및 평가	1년			■		
								파일럿 플랜트 성능평가 및 사업화	파일럿 플랜트 성능평가 지원 및 사업화	1년				■	
								저전력 저비용 개발의 해수담수화 최적화 프로그램 및 운전 유지관리매뉴얼	프로그램 및 매뉴얼	1년	■				
	2. 저에너지 고효율 해수담수화 플랜트 O&M기술	2. 플랜트 O&M 기술	3. 신재생에너지 인터페이스 기술	중등 환경 및 수질 대응 막오염 저감 기술 개발	1. 전력사용량 연간 증가율 5% 이내 2. 유지관리비용 5%이상 절감 3. VFD지능형 제어에 의한 펌프 효율손실 10%감소	5	5		VFD 제어 고도화 기술 및 최적 제어 시스템	시스템	1년		■		
									규모별 운영 관리 기술 방안 도출 및 경제성 평가	운영관리 매뉴얼	1년			■	
									실규모(10만m3/일) 해수담수화 플랜트 운영관리 플랫폼 설계	운영관리 플랫폼	1년				■
									UAE 현장 수질 모니터링 및 분리막 분석을 통한 막오염 진단기술 개발	바이오파울링 미생물 정량탐집자	4년				
									세정기술 개발	바이오파울링 제어용 막 세정제 및 소프트웨어	4년				
	3. 에너지자립형 신재생 에너지 해수담수화 인터페이스 기술	4. TEP 모니터링 및 제어기법	5. 막오염 진단 및 제어기법	중등 환경 및 수질 대응 막오염 저감 기술 개발	1. 유지관리비 5% 저감 2. 기존 상용화 세정제 대비 세정효율 (차압회복률 10%) 향상	2	7		담수화 공정 수압시스템 해석 기술	배관해석 모델	2년				
									담수화 공정 수압시스템 최적화 기법 및 소프트웨어	해석 소프트웨어	2년				
									AEMI (Advanced Energy Monitoring Infrastructure) 개발	설계 매뉴얼	2년				
									에너지 맵핑 시스템 (EMS: Energy Mapping System) 개발	최적운영 소프트웨어	2년				
									10개 이상지점 동시모니터링						
4. TEP 모니터링 및 제어기법 개발	5. 막오염 진단 및 제어기술 개발	5. 막오염 진단 및 제어기법	중등 환경 및 수질 대응 막오염 저감 기술 개발	1. 예측정확도 90% 2. 에너지손실 10% 절감 3. 10개 이상지점 동시모니터링	5	5									

■ 1세부 인건비

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	①투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①×②×③)	⑤ 인건비 단가	⑥ 인건비 (④×⑤)
세부기술명	기술명								
1세부: 현지거점 관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발	UAE 현지 파일럿 플랜트 설치를 위한 공조체계 구축 및 원수 내 조류 오염물질 분석	1년	1차년도	1	12	5.9	0.7	11,271,802	7,980,436
	UAE 현지 파일럿 설치 및 조류에 대한 현지 파일럿 플랜트 모니터링 시스템 제안	1년	2차년도	2	12	21	5.0	11,271,802	56,809,882
	UAE 현지 파일럿 시운전 지원 및 각 연구기관별 문제점 보완 점검	2년	3차년도	2	12	21	5.0	11,271,802	56,809,882
	UAE 현지 파일럿플랜트 성능점검 및 조류 제어기술 운영	6개월	4차년도	1	6	12	1.4	11,271,803	16,231,396
	UAE 현지 파일럿 운전 및 성능 결과 도출	6개월	4차년도	1	6	30	3.6	11,271,802	40,578,487
	소 계				7				
1-1공동: 대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템 개발	저에너지 소모형 CDI 전원 공급 장치 개발	1년	1차년도	3	12	9.7	3.492	5,154,500	17,999,514
	200톤/일 CDI 시스템 운전 최적화	1년	2차년도	3	12	9.7	3.492	5,154,000	17,997,768
	대면적 전극 개발 및 CDI 모듈 개발	1년	3차년도	3	12	9.7	3.492	5,154,000	17,997,768
	CDI 용 이온교환막 개발	1년	4차년도	3	12	9.7	3.492	5,154,500	17,999,514
	소 계				12				
1-2공동: 저에너지 보론 선택적 제거 공정기술 개발	저에너지 보론 선택적 제거 공정 기술 개발	1년	1차년도	5	12	30	18.0	6,036,000	108,648,000
	보론 선택적 제거 공정의 최적설계 기술 개발	1년	2차년도	5	12	35	21.0	6,036,000	126,756,000
	운전 및 재생 기술 개발	1년	3차년도	5	12	27	16.2	6,036,000	97,783,200
	저에너지 보론 선택적 제거 공정 상용화	1년	4차년도	5	12	27	16.2	6,036,000	97,783,200
	소 계				20				
1-3공동: 고효율 내압성 카 트리지 필터 모듈 기술 개발	내구성 및 내압성 카트리지필터 및 하우징 개발	1년	1차년도	2	12	30	7.2	6,158,000	44,337,600
	해수담수화 전용 카트리지필터 Modular Rack 개발	1년	2차년도	2	12	40	9.6	6,158,000	59,116,800
	현지 파일럿 플랜트 설치 및 운전	2년	3차년도	1	12	5	0.6	6,158,000	3,694,800
			4차년도	1	12	5	0.6	6,158,000	3,694,800
	Modular Rack 기술이전 및 상용화	2년	3차년도	1	12	5	0.6	6,158,000	3,694,800
			4차년도	1	12	5	0.6	6,158,000	3,694,800
소 계				8					118,233,600

■ 2세부 인건비

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	①투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①×②×③)	⑤ 인건비 단가	⑥ 인건비 (④×⑤)
세부기술명	기술명								
2세부: 해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스 템 기술 개발	해수담수화 전처리 전용 UF 모듈 기술 개발	1년	1차년도	1	12	16	1.9	6,158,000	11,999,971
	해수담수화 전처리 전용 UF 공정 해외 플랜트 설계 및 시공	1년	2차년도	3	12	45	16.2	6,158,000	100,000,353
	해수담수화 전처리 전용 UF 공정 운영 프로그램 및 해외 플랜트 운영 및 시스템 업그레이드	2년	3차년도	2	12	17	4.1	6,158,000	25,124,640
			4차년도	2	12	17	4.1	6,158,001	25,124,644
	해수담수화 전처리 전용 UF 공정 해외 플랜트 현장검증 및 상용화	2년	3차년도	2	12	17	4.1	6,158,000	25,124,640
			4차년도	2	12	17	4.1	6,158,001	25,124,644
소 계				12					212,498,893
2-1공동: 보론 및 염제거 능력향상을 위한 고성능 역삼투막 및 모듈 개발	친수성 지지층 개발 및 연속제조기술개발	1년	1차년도	14	12	22	37.0	4,600,000	170,016,000
	역삼투막의 파일럿 공급을 위한 prototype 평가	1년	2차년도	14	12	33	55.4	4,600,000	255,024,000
	분리막 및 모듈화 양산 시스템 구축 및 파일럿플랜트 공급	1년	3차년도	14	12	27.5	46.2	4,600,000	212,520,000
	실증파일럿플랜트 시스템 구축 및 성능평가	1년	4차년도	14	12	27.5	46.2	4,600,000	212,520,000
	소 계				56				
2-2공동: 조류 및 고탁도 해수 전처리 공 정 개발	한국형 전처리시설 설계기술 확립 및 재현성 실험	1년	1차년도	5	8	50	20.0	6,158,000	123,160,000
	해외 현지 실증 플랜트 제작	1년	2차년도	5	8	50	20.0	6,158,000	123,160,000
	해외 현장 설치 및 운전	1년	3차년도	2	12	50	12.0	6,158,000	73,896,000
			4차년도	2	12	50	12.0	6,158,000	73,896,000
	현지 파일럿 플랜트 현장검증 및 기술이전	1년	3차년도	2	12	50	12.0	6,158,000	73,896,000
			4차년도	1	12	50	6.0	6,158,000	36,948,000
소 계				17					504,956,000

■ 3세부 인건비

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	①투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①×②×③)	⑤ 인건비 단가	⑥ 인건비 (④×⑤)
세부기술명	기술명								
3세부: 고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	site survey 및 각 요소기술 data sheet를 바탕으로 기본설계	1년	1차년도	2	12	1.9	0.5	2,500,000	1,140,000
	저에너지 운영을 위한 최적 상세설계, 제작, 시공, 설치, 시운전	1년	2차년도	4	12	7.8	3.7	2,500,000	9,360,000
	단위공정별 최적 운영인자 및 에너지 사용량 도출	1년	3차년도	4	12	88	42.2	2,500,000	105,600,000
	파일럿 플랜트 성능평가 및 사업화	1년	4차년도	2	12	7.5	1.8	2,500,000	4,500,000
	소 계				12				
3-1공동: 해수담수화플랜트 저전력 저비용 운 영관리 기술개발	저전력 저비용 개발의 해수담수화 최적화 프로그램 및 운전 유지관리메뉴얼	1년	1차년도	20	12	11.5	55.2	3,018,000	40,561,920
	VFD 제어 고도화 기술 및 최적 제어 시스템	1년	2차년도	40	12	13	62.4	3,018,000	188,323,200
	규모별 운영 관리 기술 방안도출 및 경제성 평가	1년	3차년도	60	12	8	57.6	3,018,000	173,836,800
	실규모(10만m3/일) 해수담수화 플랜트 운영관리 플랫폼 설계	1년	4차년도	80	12	6	43.2	3,018,000	173,836,800
	소 계				200				
3-2공동: 중동 환경 및 수 질 대응 막오염 저감기술 개발	UAE 현장 수질 모니터링 및 분리막 분석을 통한 막오염 진단기술 개발 세정기술 개발	1년	1차년도	8	12	7	6.72	6,036,000	40,561,920
		1년	2차년도	11	12	13.9	18.348	6,036,000	110,748,528
		1년	3차년도	12	12	23	33.12	6,036,000	199,912,320
		1년	4차년도	11	12	14.9	19.668	6,036,000	118,716,048
	소 계								
3-3공동: 해수담수화 공정 수압시스템 최적 화 기술 및 에너 지 맵핑 시스템 개발	담수화 공정 수압시스템 해석 기술	1년	1차년도	8	12	20.9	20.1	6,000,000	120,384,000
	담수화 공정 수압시스템 최적화 기법 및 소프트웨어	1년	2차년도	8	12	26	25.0	6,000,000	149,760,000
	AEMI(AdvancedEnergyMonitoringInfrastructur e) 개발	2년	3차년도	8	12	26	25.0	6,000,000	149,760,000
	에너지맵핑시스템(EMS:EnergyMappingSystem)개발	2년	3차년도 4차년도	8	12	31.3	30.0	6,000,000	180,288,000
	소 계								

■ 1세부 연구장비 재료비

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계 (천원)
			품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	
현지거점 관리와 조류 모니터링을 통한 최적 에너지공정 제어 방법 개발	UAE 현지 파일럿 플랜트 설치 및 공조시스템 구축을 위한 연구원 조류 분석 및 부산물 오염물질 분석	1년	1차년도	Pyrolyzer	Frontier-Lab	1	40,000	40,000										시험석기	해수수질분석항목	5,000	21	105,350	145,350
	UAE 현지 파일럿 플랜트 조류 분석을 위한 현지 모니터링 시스템 제안	1년	2차년도	LC-OC D	LC-OC D-OND	1	100,000	100,000										시험석기	해수수질분석항목, 시약구입비, 초자이류구입, 전산처리비	2,000	100	200,000	300,000
	UAE 현지 파일럿 시지 지원 및 연구기관별 문제점 보완	1년	3차년도															시험석기	해수수질분석항목, 시약구입비, 초자이류구입, 전산처리비	2,000	100	200,000	200,000
	UAE 현지 파일럿 성능검류 및 제어 운영	1년	4차년도															시험석기	해수수질분석항목, 시약구입비, 초자이류구입, 전산처리비	2,000	100	200,000	200,000
	소계																						705,350
대용량 CDI 모듈 및 공정 시스템	저에너지 소모형 CDI 전원 공급 장치 개발	1년	1차년도	CDI 테스트 장비	50L/min 데이터 로깅	2	30,000	60,000	파워 서라이	300V, 100A	10	5,000	50,000					실험재료 및 소모품	PCB 제작, 인덕터, 소모품 등	1,145	200	229,000	339,000
	200톤/일 CDI 시스템 운전 최적화	1년	2차년도	이온교환막 제조 장치	폭 30cm 이상	1	30,000	30,000	컨트롤기	PCB, Can 통신	10	1,000	10,000							1,145	200	229,000	269,000
	대면적	1년	3차																	1,29	200	259,000	259,000

개발	전극 개발 및 CDI 모듈 개발		년도																	5						
	CDI 용 이온교환막 개발	1년	4차년도	CDI 테스트 장치	200m3/d	1	219,000	219,000												1,005	200	201,000	420,000			
	소계							309,000															918,000	1,287,000		
에너지보존 선택적 제거공정 기술개발	저에너지 보론 선택적 제거 공정 기술 개발	1년	1차년도											0	보론 제거용 IX 시스템	BSR의 성능비 교용 벤치스 케일	1	60,000	60,000	센서 및 분석비 등	전도도, 유량, 온도, 압력 등	550	100	55,000	115,000	
	보론 선택적 제거 공정의 최적설계 기술 개발	1년	2차년도												보론 제거용 IX 시스템/BWRO 시스템/재생 설비	10 m3/d	1	120,000,000	120,000	실험 재료 및 시약	보론 선택성 등	615	100	61,500	181,500	
	운전 및 재생 기술 개발	2년	3차년도												보론 제거용 IX 시스템 보완/BWRO 시스템 보완/재생 설비 보완	세미과일릿 규모	1	40,000	40,000	센서 및 실험 분석비	전도도, 유량, 온도, 압력 등	385	100	38,500	78,500	
	저에너지 보론 선택적 제거 공정 상용화		4차년도																	실험 재료 및 시약	밸브, 커넥터, 호스 등	700	100	70,000	70,000	
	소계																							220,000	225,000	445,000
고효율 내압성 카트리지가 필터 모듈 개발	내구성 및 내압성 카트리지가 필터 하우징 개발	1년	1차년도	Filter 및 Housing Design 장비	필터: 8" x 60", Max 30m3/hr Housing: 10"x80" at Max Pressure 7bar	1	42,000	42,000,000	성능장비	50m ³ /hr, 10bar	1	36,000	36,000											78,000		
	해수담수화 전용 카트리지가 필터 Modular Rack 개발	1년	2차년도	Filter & Housing 생산장비	필터: 8" x 60", Average 25m3/hr Housing: 10"x80" at Max Pressure 7bar	2	320,000	640,000							Catridge Filter System 제작 및 설치	2,000 m ³ /d	1	80,000	80,000							720,000
	현지 파일럿	2년	3차년도												Catridge	2,001 m ³ /d	1	55,000	55,000							55,000

■ 2세부 연구장비 재료비

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계 (천원)
			품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	
해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스 템 기술 개발	해수담수 화 전처리 전용 UF 모듈 기술 개발	1년	1차 년도	UF소 재및 모듈 개발,	막개발, 모듈개 발, 프로토 타입 제작	1	950,000	950,000	성능 측정 장비		2	25,000	50,000					제조 약품, 실험분 석 키트		40	500	20,000	1,020,000
		1년	2차 년도	UF모 듈개 발,스 키트 개발		1	900,000	900,000	성능 측정 장비		1	20,000	20,000	UF 스키트 제작	RO생 산수기 준 2,000 m ³ /d, 제작	1	500,000	500,000	제조 약품, 실험분 석 키트		200	500	100,000
	해수담수 화 전처리 전용 UF 공정 해외 플랜트 설계 및 시공	2년	3차 년도										UF 시운전 및 공정개 선비	RO생 산수기 준 2,000 m ³ /d	1	200,000	200,000	제조 약품, 실험분 석 키트		60	500	30,000	230,000
			4차 년도										UF 운전, 체류비	RO생 산수기 준 2,000 m ³ /d	1	120,000	120,000					120,000	
	해수담수 화 전처리 전용 UF 공정 해외 플랜트 현장검증 및 상용화	2년	3차 년도										UF 시운전 및 공정개 선비	RO생 산수기 준 2,000 m ³ /d	1	100,000	100,000	제조 약품, 실험분 석 키트		60	500	30,000	130,000
			4차 년도										UF 운전 및 운영 개선	RO생 산수기 준 2,001 m ³ /d	1	120,000	120,000					120,000	

		4차 년도											현장보 완	m/d RO생 산수기 준 2,000 m/d	1	30,000	30,000						30,000
현지 파일럿 플랜트 현장검증 및 기술이전	2년	3차 년도											현장설 치	RO생 산수기 준 2,000 m/d	1	15,000	15,000	시약재 료	1식	1	20,000	20,000	35,000
		4차 년도											현장보 완	RO생 산수기 준 2,001 m/d	1	10,000	10,000						10,000
소계																	955,000					120,000	1,075,000

■ 3세부 연구장비 재료비

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계 (천원)		
			품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가 (천원)	소계 (천원)			
고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수 담수 화플 랜트 설계/ 시공	site survey 및 각 요소기술 data sheet를 바탕으로 기본설계	1년	1차 년도																						
	저에너지 운영을 위한 최적 상세설계, 제작, 시공, 설치, 시운전	1년	2차 년도									파일럿 플랜트 제작, 운반및 시공	RO생 산수기 준 2,000 m ³ /d	1	6,700,000	6,700,000								6,700,000	
	단위공정 별 최적 운영인자 및 에너지 사용량 도출	1년	3차 년도									파일럿 플랜트 보완비	RO생 산수기 준 2,000 m ³ /d	1	335,000	335,000								335,000	
	파일럿 플랜트 성능평가 및 사업화	1년	4차 년도																						
	소계																7,035,000							7,035,000	
해수 담수 화플 랜트 저전 력 저비 용	저전력 저비용 개발의 해수담수 화 최적화 프로그램 및 운전 유지관리	1년	1차 년도								분석장 비/DB 프로그 램/ 해수 담수 화 및 정수 용	10	30,000	300,000					실험재 료 및 소모품	실험소 모품 및 시약	150	100,000	15,000		315,000

																	소모품	및 시약								
	소계																							440,000	530,000	
해수 담수 화 공정 수압 시스템 최적 화 기술 및 에너 지 맵핑 시스 템 개발	담수화 공정 수압시스 템 해석 기술	1년	1차 년도															전산처 리비	전산자 원활용 비	2	50,000	100,000	100,000			
	담수화 공정 수압시스 템 최적화 기법 및 소프트웨 어	1년	2차 년도								AEMI 시스템	SET	1	100,000	100,000		전산처 리비/ 재료비	전산자 원활용 비/AE MIS 실험	2	50,000	100,000	200,000				
	AEMI(Adv ancedEner gyMonitori ngInfrastru cture)개발	1년	3차 년도								EMS 시스템	SET	1	100,000	100,000		전산처 리비/ 재료비	전산자 원활용 비/EMS 실험	2	50,000	100,000	200,000				
	에너지맵 핑시스템(EMS:Energy MappingS ystem)개 발	1년	4차 년도								에너지 원격진 단시스 템	SET	1	150,000	150,000		전산처 리비/ 재료비	전산자 원활용 비/진 단실험 비용	2	50,000	100,000	250,000				
	소계																								350,000	400,000

■ 세부과제별 연구비 총괄

－ 1세부과제

(단위: 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	비 고
인건비	179	261	180	800	1,420	
연구장비재료비	677	1,471	647	760	3,555	
세부과제 연구비	1,276	2,450	1,577	1,637	6,940	
기타경비 및 간접비	420	718	750	77	1,965	

－ 2세부과제

(단위: 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	비 고
인건비	305	478	411	374	1,568	
연구장비재료비	1,176	2,504	619	552	4,851	
세부과제 연구비	1,950	3,650	1,570	1,370	8,540	
기타경비 및 간접비	469	668	540	444	2,121	

－ 3세부과제

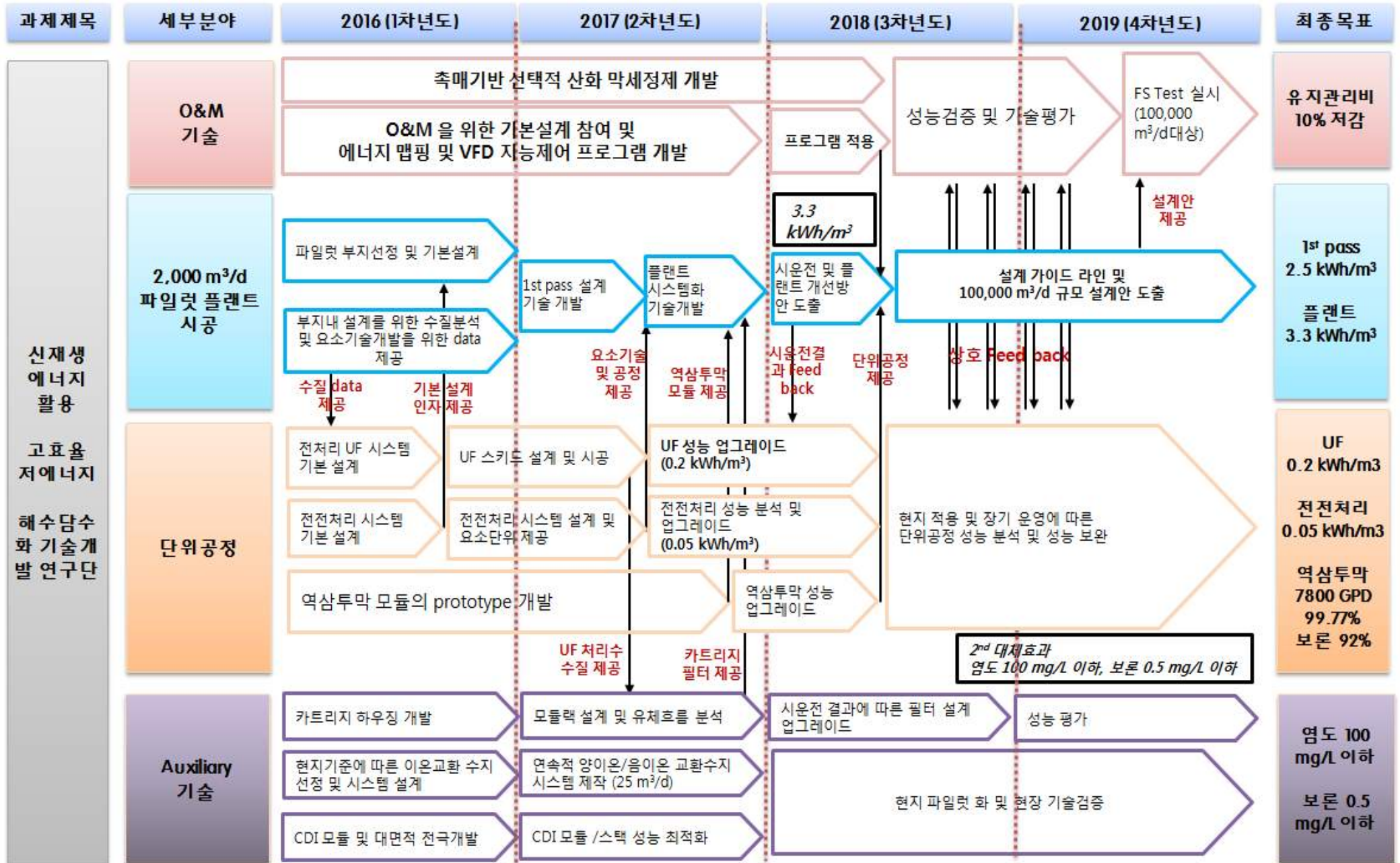
(단위: 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	비 고
인건비	245	458	629	477	1,809	
연구장비재료비	515	7,240	915	490	9,160	
세부과제 연구비	780	7,950	2,150	1,740	12,620	
기타경비 및 간접비	20	252	606	773	1,651	

■ 총 연구비

구 분	세부 과제명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	총 연구비
1세부	현지거점관리와 조류 모니터링을 통한 최적 저에너지 공정 제어방법 개발	1,276	2,450	1,577	1,637	6,940
2세부	해수 전처리 UF 막 모듈 및 시스템 기술 개발	1,950	3,650	1,570	1,370	8,540
3세부	고온 고염 대응 저에너지 역삼투 해수담수화플랜트 설계/시공	780	7,950	2,150	1,740	12,620
총 합 계		4,006	14,050	5,297	4,747	28,100

○ 기술로드맵



주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.